U . T . E

Aménagement Hydro-électrique du RIO NEGRO
en aval de BAYGORRIA

RAPPORT HYDROLOGIQUE

Etude générale sur les crues maximales du RIO NEGRO

par

Jean RODIER
Ingénieur en Chef à Electricité de France
Chef de la Section Hydrologique à l'O.R.S.T.O.M

et

Pierre DUBREUIL
Maître de Recherches à l'O.R.S.T.O.M.

SOFRELEC

PARIS . JUILLET 1962

U. T. E.

AMENAGEMENT HYDROELECTRIQUE du RIO NEGRO
en AVAL de BAYGORRIA

-=-=-=-=-

RAPPORT HYDROLOGIQUE

Etude Générale sur les Crues Maximales
du RIO NEGRO

par

Jean RODIER
Ingénieur en Chef à Electricité de France
Chef de la Section Hydrologique à l'O.R.S.T.O.M.

et

Pierre DUBREUIL
Maître de Recherches à l'O.R.S.T.O.M.

SOFRELEC

Paris - Juillet 1962.

S O M M A I R E

./.

PAGE

-=-=-=-=-=-

INTRODUCTION

L'étude de l'aménagement hydroélectrique du RIO NEGRO, en aval de Rincon de Baygorria (du km 200 au km 120) nécessite la détermination des données suivantes concernant le régime de ce cours d'eau:

1°/- Ressources disponibles aux sites prévus ou débits moyens annuels

2°/- Durée et fréquence des périodes sèches.

3°/- Transports et dépôts solides (renseignements qualitatifs)

4°/- Débits de crues exceptionnelles.

Après un court rappel, dans un premier chapitre, des facteurs conditionnels physiques et climatiques du Rio Negro, nous estimerons de notre mieux les trois premières catégories de données dans un second chapitre.

Malgré la documentation substantielle fournie par la U.T.E., il nous est apparu, lors d'une mission effectuée en fin de 1961, qu'un certain nombre de mesures complémentaires sur le terrain permettrait à la fois, de préciser certains points et de valoriser des données d'observations encore inexploitées.

Malheureusement la sècheresse qui a sévi jusqu'en Mai 1962 n'a pas permis à cette campagne de mesures de fournir tous les résultats qu'on en attendait; il en résulte que la précision de certains résultats présentés dans ce second chapitre est susceptible d'être améliorée à la suite de mesures ultérieures à la rédaction du présent rapport. Bien qu'elles soient valables, les conclusions de cette partie de ce rapport seront susceptibles de recevoir de légères modifications.

Le problème de l'estimation des crues exceptionnelles était d'une très grande importance pour l'étude des aménagements et imposait des calculs beaucoup plus longs et complexes que pour la détermination des autres caractéristiques hydrologiques, c'est pourquoi il a été examiné dans un chapitre séparé : le Chapitre III. Cette étude avait été demandée non seulement pour les sites des aménagements futurs, mais aussi pour ceux des aménagements existants de Rincon del Bonete et de Baygorria.

../.

A la suite de la crue exceptionnelle d'avril 1959, la UTE a envisagé de corriger les capacités d'évacuation de ces deux ouvrages et d'augmenter le volume du réservoir de Bonete. On trouvera dans le Chapitre III, tous les éléments hydrologiques permettant de prendre une décision sur ce point.

L'observation du phénomène d'avril 1959 nous apporte, tout au moins pour le bassin supérieur, des renseignements suffisamment précis pour qu'il y ait moins à attendre de la campagne de mesures dans ce domaine des crues que dans le domaine des débits moyens annuels, des débits de basses eaux et des transports solides. Les conclusions de ce chapitre seront donc moins susceptibles de corrections que celles du chapitre précédent. Toutefois la poursuite de mesures sur le Rio Yi et les petits affluents du Rio Negro, à l'aval de Rincon del Bonete permettrait d'améliorer nos connaissances sur les crues du bassin inférieur du Rio Negro et peut-être de revoir certains débits de crue exceptionnelle avancés plus loin.

On n'a reporté dans ce rapport que les détails nécessaires à la compréhension des méthodes de calculs utilisés, mais il n'était pas possible de présenter le déroulement complet des diverses opérations. Pour alléger ce texte, la majeure partie des calculs, tableaux et graphiques, ont été reportés en annexe.

C H A P I T R E   I

LES FACTEURS CONDITIONNELS DU REGIME DU RIO NEGRO

Il s'agit ici plutôt d'un rappel concis de ces facteurs conditionnels que d'une étude exhaustive. Celle-ci a déjà fait l'objet de documents remis par la UTE et d'études diverses de ses ingénieurs ou d'organismes consultés. Nous mettrons plus particulièrement l'accent sur nos impressions de terrain et sur les données susceptibles de servir aux avant-projets d'aménagement. On suivra plus aisément ce chapitre à l'aide de la carte du bassin versant du RIO NEGRO, figurant en annexe. Plan 1.1.

SECTION I - LE COMPLEXE PHYSIQUE DU BASSIN -

Les formations géologiques en URUGUAY, issues d'un passé continental quasi-continu, sont assez faciles à classer. Au Sud, affleure le socle cristallin qui représente environ les 3/4 du bassin drainé par le Rio YI. Le recouvrent au Nord-Est les formations de GONDWANA (du permien au jurassique) sables, argiles, grès constituant l'essentiel du haut-bassin du RIO NEGRO en amont de RINCON del BONETE. La limite Ouest de ce bassin est figurée sur le terrain par les Cuchillas Negra et de Haedo, extrêmes expansions orientales des roches d'épanchement basaltiques qui recouvrent tout le Nord-Ouest du pays.

Les formations gréseuses post-crétacé n'affleurent qu'en aval de Paso del Puerto et sporadiquement sur la ligne de partage des eaux entre YI et RIO NEGRO, aux environs de MOLLES.

Les conditions climatiques (forts écarts de température, pluies violentes, insolation intense) ont favorisé l'action de l'érosion. L'uniformité morphologique du pays en a été accrue : les cuchillas ne sont plus que des tables arasées ou des collines molles dont la hauteur de commandement au-dessus des thalwegs se réduit à quelques dizaines de mètres. Les éléments les plus durs subsistent par quelques buttes témoins (grès de TACUAREMBO) mais la tendance générale est à la pénéplanisation.

../.

Il y a tout juste 1000 km^2 dépassant 300 m d'altitude au Nord du bassin (point culminant 378 m). Le relief de collines des cuchillas est généralement supérieur à 200 m, cependant l'altitude moyenne du bassin versant est plus proche de 150 m.

Les principaux fleuves atteignent la cote 100 m, très rapidement à Paso Mazangano pour le Rio Negro, un peu en aval de Paso del Borracho pour le Tacuarembo, à mi-parcours entre Sarandi et Durazno pour le Yi. A ces endroits, les bassins drainés représentent de 5 à 7 000 km^2 et les thalwegs principaux ont des longueurs de 100 à 150 km.

Les conditions morpho-climatiques n'ont pas permis le développement de sols très profonds. Sur les cuchillas, les affleurements rocheux sont très nombreux; des sols de 50 à 60 centimètres sont fréquents; leurs perméabilités sont variables mais généralement peu élevées : 2 à 5 mm/h pour les terrains argileux; 20 à 50 mm/h pour ceux dont la fraction sableuse n'est pas négligeable.

Le recouvrement des sols par une végétation herbacée accentue encore l'impression d'uniformité. Le peuplement forestier naturel se cantonne dans les vallées.

Des sols peu profonds, un sous-sol généralement imperméable, une couverture végétale réduite, ces trois éléments vont conditionner la structure du réseau hydrographique.

Les eaux de pluie s'infiltrent mais la saturation des terrains est rapidement atteinte et si les précipitations se prolongent (ou si l'évaporation est réduite) le ruissellement apparaît et devient prépondérant. Sur le terrain, ce devenir des pluies se manifeste sous deux formes :

- le suintement des couches perméables du sol, en bas de pente au contact de l'horizon argileux ou de la roche non altérée; suintement qui se concentre dans des marécages pour former l'écoulement de base.

- ces bas-fonds humides sont rapidement entaillés par un effondrement des terrains détrempés et le premier thalweg d'érosion apparaît; il a été formé par les eaux de ruissellement lors de pluies intenses et sa section en U est largement surdimensionnée pour le maigre suintement des eaux infiltrées.

../.

Ce phénomène d'érosion est visible assez prêt des lignes de partage des eaux, pour des surfaces drainées inférieures au km^2.

Très rapidement, les suintements deviennent suffisants pour constituer un écoulement permanent. La forêt envahit littéralement le thalweg. Pour des bassins de 10 à 500 km^2 environ, l'axe de drainage est une vallée encaissée de plusieurs mètres dans les terrains adjacents, encombrée d'une végétation arbustive très dense et dont la largeur ira de quelques dix jusqu'à plus de 100 mètres. Au milieu de la forêt, on discerne un lit mineur à peine prononcé d'un ou 2 mètres de large qui suffit à assurer l'évacuation de l'écoulement de base. La disproportion avec les débits de crue transparait déjà dans la structure des lits. Dans le lit majeur des dépôts d'alluvions plus ou moins grossiers attestent de l'existence des crues. Quand les superficies drainées atteignent 1000 km^2 environ, l'importance des écoulements permanents permet le dégagement d'un lit mineur de 50 à 60 mètres de large, encaissé de 5 à 10 mètres dans le lit majeur. La végétation forestière encombre toujours celui-ci. On constate la présence de nombreux méandres. Lors des fortes crues, les débordements hors du lit mineur envahissent la zone enforestée où ils rencontrent des difficultés à s'écouler. Les changements de lits par recoupement de méandres sont fréquents; il y en eut beaucoup en 1959.
On trouve souvent dans le lit majeur trace d'anciens bras aujourd'hui asséchés ou constituant des mares que le fleuve en crue peut parfois emprunter.

Cette tendance à la divagation s'associe aux irrégularités de la pente des principaux fleuves, preuves d'un équilibre non atteint. La pente moyenne du Rio Negro passe de 0,29 m/km en amont du lac de BONETE à 0,16 m/km dans le bief inférieur en aval de la confluence du Yi.

En amont de BONETE, les confluences de 2 cours d'eau importants dans la plaine sont généralement des zones d'épandage des eaux de crue qui se transforment en marécages en années à fort écoulement (banados).

Faiblesse des écoulements de base, violence des crues tels sont les deux traits essentiels que nous révèle l'examen sur le terrain du réseau hydrographique .

Quelques nuances locales peuvent être formulées:

- écoulement de base meilleur sur les grés du bassin du RIO TACUAREMBO mais aussi crues plus violentes (pentes plus marquées.
- prépondérance de la stagnation marécageuse sur l'infiltration dans le haut bassin du RIO NEGRO (Brésil compris), donc peu d'écoulement de base mais des coefficients de ruissellement très importants lors des crues; lesquelles seront moins rapides car les pentes sont très modérées.
- conjugaison des exagérations sur le bassin du Yi : faiblesse des débits de base et violence des crues.

En collaboration avec la UTE, nous avons revu les superficies précédemment admises pour les bassins versants. Nous donnons dans le tableau joint les nouvelles valeurs obtenues à partir de la carte au 1/500 000° de l'URUGUAY (couverture aérienne Trimetrogon) considérée actuellement comme la plus précise. Seule la superficie de la partie brésilienne du bassin reste approximative.

BASSIN VERSANT du RIO NEGRO — SUPERFICIES aux DIFFERENTES STATIONS

Cours d'eau	Station	Superficie en km^2
RIO NEGRO	Partie brésilienne	3 125
"	Paso Manzagano	6 650
"	Paso Aguiar	8 265
"	Paso Pereyra	11 760
"	Paso Ramirez	31 000
"	Rincon del Bonete	39 700
"	Paso de los Toros	40 335
"	Rincon de Baygorria	43 620
"	Paso del Puerto	62 090
"	Paso del Palmar	62 560
"	Yapeyu	66 810
"	Embouchure	71 280
RIO TACUAREMBO	Paso del Borracho	6 670
"	Paso del Cerro	10 325
"	Paso de la Laguna	13 985
ARROYO CUNAPIRU	Usina UTE	1 985
" TRES CRUCES	Paso BALTASAR	940

../.

RIO YI	Sarandi	1 445
"	Durazno	8 910
"	Paso del Bote	12 735
ARROYO GRANDE del SUR	Pont Ruta 3	3 180
" " del NORTE	Pont Ruta 3	2 165

SECTION 2 - LES CONDITIONS CLIMATIQUES -

Elles ont pour nous une grande importance dans 2 domaines, ceux de l'évaporation et des précipitations.

Pour en suivre l'évolution, nous utiliserons les relevés des stations météorologiques départementales (Rivera, Tacuarembo, Cerro Largo, Paysandu, Soriano et l'Observatoire du Prado) et plus particulièrement la station de Rincon del Bonete qui occupe une position centrale dans le bassin et un site privilégié pour les études d'évaporation sur le lac artificiel (voir les tableaux 1.2 en annexe qui donnent les moyennes mensuelles pour la période 1946-1950).

2.1 - L'EVAPORATION ET SES FACTEURS CONDITIONNELS -

Températures, humidités de l'air et vitesse des vents expliquent l'évaporation et ses variations saisonnières.

Le climat de l'URUGUAY est un climat simple semblable à celui des zones voisines de la Mer Méditerranée. L'alternance des saisons est régulière, la température est le facteur essentiel car il est celui qui varie le plus. Son évolution annuelle suit une courbe sinusoïdale à partir d'un minimum d'hiver (Juin-Juillet-Août); durant cette saison, les moyennes des minimums sont de 5 à 8° et celles des maximums de 15 à 18°. Les températures s'élèvent graduellement jusqu'à l'été austral (Décembre-Janvier-Février) où les mêmes moyennes atteignent 15 à 18° pour les minimums et 29 à 32° pour les maximums. Les écarts journaliers sont aussi importants; des sautes de 10° ne sont pas rares. Il gèle en hiver et les valeurs extrêmes enregistrées oscillent autour de -5° et de 43°.

A l'encontre de ces variations thermiques considérables la masse océanique entretien une humidité régulière sur le pays, tout au moins dans les moyennes. Les valeurs extrêmes sont en effet de 100 %, valeur observable à n'importe quelle période de l'année, et de 5 à 20 %. Les moyennes des maximums

../.

et des minimums journaliers ont une variation annuelle analogue à celle des températures, mais l'amplitude de la sinusoïde est très faible : les maximums moyens valent 85 % en été et 95 % en hiver; les minimums moyens oscillent de 40 à 60 %. L'influence saisonnière est faible; le déficit hydrométrique moyen est modéré.

Encore plus régulier est le troisième facteur : les vents soufflent avec force toute l'année sur le pays; leur direction privilégiée est Nord-Est; celle-ci peut passer à Sud-Est en été sur le versant brésilien des cuchillas de l'Est du pays. La vitesse moyenne est quasi-constante dans l'année; 13 à 15 km/h dans le Sud et près de la mer; 8 à 10 km/h seulement dans le Nord et l'Est. Cette régularité cache les violences dont sont capables les grands vents. Ainsi à MONTEVIDEO, de 1906 à 1960 on enregistra 57 fois des vitesses supérieures à 100 km/h ; ces vents ont des directions privilégiées (75 % WSW et 25 % SSE environ). Ces vitesses ont dépassé 3 fois 200 km/h; elles peuvent se maintenir pendant plusieurs heures au-dessus de 100 km/h.

Associé au déficit hydrométrique modéré, le vent accroît et favorise une évaporation régulière tout au long de l'année. Les variations thermiques infléchissent cette constance et imposent à l'évaporation un mouvement cyclique analogue depuis les minimums d'hiver jusqu'aux maximums d'été. L'écart ainsi creusé est notable; l'évaporation journalière sur un bac est de l'ordre de 1,5 à 2 mm en Juin et Juillet; elle s'élève jusqu'à 9 à 10 mm en Décembre et Janvier. Les moyennes mensuelles extrêmes furent de 1946 à 1960 : 1,3 mm/j en Juillet 1947 et 11,6 mm/j en Décembre 1955.

Le bac évaporatoire de classe A (type de l'US Weather Bureau) de la station de Rincon del Bonete, seul bac en service dans le pays, est en place depuis 1941 environ. Depuis 1946, le remplissage du lac de Bonete a profondément modifié les conditions microclimatiques du site; jusqu'alors implanté sur la colline où s'appuie le barrage en rive droite, le bac était en microclimat sec et venté; maintenant la présence du lac a considérablement augmenté le degré hydrométrique local et abaissé l'évaporation. Le tableau 1.3 donne les valeurs mensuelles de l'évaporation mesurée dans ce bac de classe A de 1946 à 1960. La moyenne annuelle est de <u>1800 mm</u>; elle subit des variations de faible amplitude, de l'ordre de ± 7 % à l'échelle décennale.

../.

De 1941 à 1946, la moyenne annuelle atteignait 2100 mm. L'excès de 300 mm sur la moyenne des 15 dernières années n'est pas seulement imputable au changement de micro-climat créé par la retenue. En effet, les années 1943-1944 et 1945 furent parmi les plus sèches du siècle; aussi peut-on craindre là une autre influence due à des années exceptionnelles sur une moyenne de courte période (5 ans).

Dans les projets de BONETE et de BAYGORRIA, on retint les valeurs de 1941-1946, multipliées par le coefficient classiquement admis de 0,7; cela donnait les moyennes mensuelles suivantes (en mm/j) :

Jv	Fv	Ms	Av	M	Jn	Jt	A	St	O	N	D
7,1	6,15	4,75	3,2	2,0	1,45	1,8	2,6	3,35	4,15	5,5	6,85

Au total l'évaporation annuelle pour les retenues était de 1485 mm.

Nous préférons pour le site de PALMAR nous appuyer sur les données de la période plus longue 1946-1960 et les affecter du coefficient 0,80 pour tenir compte des modifications du micro-climat. On arrive ainsi à 1440 mm par an avec les moyennes mensuelles ci-après :

Jv	Fv	Ms	Av	M	Jn	Jt	A	St	O	N	D
7,45	6,10	4,65	2,95	2,05	1,4	1,45	2,10	2,65	3,85	5,45	7,35

NB.- Ces valeurs sont applicables aux retenues existantes et futures; d'un site à l'autre les écarts de climat étant négligeables.

Les divergences avec les données anciennes sont faibles, mais nous pensons que cette nouvelle répartition est plus proche de la réalité. Au stade actuel du projet, on devra se contenter de ces valeurs. Nous avons entrepris, au début de 1962, un contrôle de l'évaporation de BONETE à l'aide d'un bac rectangulaire enterré de type COLORADO, plus apte à notre avis à représenter l'évaporation sur une grande retenue. Plusieurs mois sont nécessaires avant de savoir s'il y a lieu de revoir les chiffres proposés. D'ailleurs, il ne s'agirait certainement que de légères retouches.

../.

2.2 - LE RÉGIME DES PRÉCIPITATIONS -

La régularité des moyennes cache l'extrême irrégularité des pluies.

Quand peut-il pleuvoir ? A n'importe quel moment de l'année, 6 à 8 jours en moyenne par mois. Mais certaines années, il y a des mois qui ne reçoivent pas une goutte d'eau ou bien qui compte 15 à 20 jours de pluie au cours desquels le total recueilli peut dépasser 300 mm (600 et même 800 mm en certains endroits en Avril 1959). Ces chutes d'eau sont soit le fait de fines pluies océaniques, soit de violents orages thermiques susceptibles d'apporter plus de 100 et même de 200 mm en quelques heures.

L'origine de ces pluies est à rechercher dans l'une des 3 causes principales de perturbations de la situation météorologique stable de cette région du continent Sud Américain :

- arrivée d'air froid en provenance de la zone de hautes pressions antarctiques.

- arrivée d'air humide de la zone de basses pressions siégeant sur le Nord de l'ARGENTINE -

- Formation d'une zone dépressionnaire sur l'ARGENTINE du Nord.

Cette dernière cause donne naissance au type de temps dit "de la Sudestada prolongada" seul responsable des longs épisodes pluvieux intenses et à grands rayons d'action susceptibles, comme en 1959, de provoquer des crues exceptionnelles.

Les perturbations peuvent survenir à n'importe quel moment de l'année. Ainsi le phénomène irrégulier s'estompe-t-il sur une longue période. Les valeurs moyennes mensuelles des précipitations oscillent entre 70 à 90 mm en Novembre-Décembre et en Juin-Juillet d'une part et 110 à 130 mm d'autre part en automne ou au printemps. Cette double oscillation annuelle, de faible amplitude, est un souvenir du régime pluvial à 2 maximums bien marqués du Sud Brésilien.

Si l'on regarde les hauteurs annuelles de précipitation, on trouve une moyenne de 987 mm à MONTEVIDEO (1883-1960) et des valeurs légèrement supérieures à l'intérieur, qui atteignent 1200 à 1400 mm dans les départements du Nord. Remarquons tout de suite que le début des

../.

observations aux postes de l'intérieur du pays est plus récent qu'à MONTEVIDEO. On ne dispose guère d'un réseau suffisant qu'à partir de 1912, année à partir de laquelle nous avons pu calculer les pluies moyennes sur le bassin versant du RIO NEGRO, par tracé des isohyètes annuels.

Nous trouvons pour la période 1912-1960, soit 49 ans, les moyennes suivantes :

- 1080 mm pour le bassin du Yi en amont de DURAZNO,
- 1187 mm pour le bassin du Rio Negro en amont de PASO de los TOROS,
- 1154 mm pour le bassin du Rio Négro en amont de PALMAR.

Durant la même période, la moyenne à MONTEVIDEO est de 1075 mm. Il serait tentant d'améliorer notre connaissance de la pluie moyenne sur le bassin du Rio Negro en s'appuyant sur MONTEVIDEO et passer de 49 ans à 78 ans (1883-1960).

Pour ce faire, une seule condition : le parallélisme des régimes pluviométriques dans le temps entre la capitale et les postes de l'intérieur. Cette condition est imparfaitement remplie. En effet, nous avons fait trois analyses dont les conclusions concordent :

1°/ L'emploi du procédé de la courbe de la double masse entre MONTEVIDEO et certaines stations de l'intérieur, choisies pour la continuité de leurs relevés, sans lacune : MANSAVILLAGRA et MARINCHO pour le bassin du Yi, PASO de los NOVILLOS et BANADO de MEDINA pour celui du haut Rio Negro. Malgré les anomalies dues aux erreurs de lectures et aux changements de site des pluviomètres que nous avons décelées, il apparaît assez nettement que la corrélation entre ces stations et la capitale est imparfaite; si généralement les pluviométries suivent des variations interannuelles voisines, certaines années (ou périodes) exceptionnelles, surtout en sécheresse, ne coïncident pas.

2°/ Nous avons essayé de mettre en évidence certaines périodicités de retour d'années sèches et d'années humides par la méthode de la moyenne mobile (sur 5,7, 9 et 11 ans). Aucune périodicité n'apparaît clairement; mais les moyennes mobiles ne varient pas toujours dans le même sens à MONTEVIDEO et aux postes de l'intérieur. Alors, par exemple, que ces derniers oscillent entre des maximums en 1939-1940 et 1950-1951 et un minimum en 1944-1945, à MONTEVIDEO, seul le maximum de 1940 est visible, le second disparaît; quant au minimum il est de bien plus faible amplitude qu'à l'intérieur du bassin et ne survient qu'en 1947-1949.

../.

3°/ Les coefficients de corrélation entre MONTEVIDEO et les pluies moyennes sur les bassins limités à DURAZNO et PASO de los TOROS pour la période 1912-1960 sont égaux à 0,66 pour le Yi et 0,63 pour le Rio Negro. Ces coefficients sont certes significatifs d'une concordance globale des régimes, mais cachent mal des divergences particulières à certaines années.

En d'autres termes, on n'améliorerait pas, ou très peu la connaissance de la moyenne pluviométrique sur les bassins du Rio Negro en essayant de passer de 49 à 78 ans à l'aide de MONTEVIDEO.

Retenons simplement qu'en passant d'une période à l'autre, la moyenne de MONTEVIDEO tombe de 1075 à 987 mm; cette diminution est de 9 %. Sans l'appliquer aux moyennes pluviométriques des bassins, retenons l'éventualité d'une diminution vraisemblable des moyennes vraies par rapport à celles observées en 49 ans.

Une autre approche de la variabilité interannuelle de la pluviométrie et des oscillations possibles de la valeur moyenne pourrait être faite en essayant d'ajuster les valeurs de la pluviométrie annuelle sur une loi de GAUSS. Cet ajustement est excellent pour toutes les valeurs faibles, moyennes et pas trop abondantes, mais certaines valeurs très fortes s'écartent résolument de la loi de GAUSS. Ainsi à MONTEVIDEO 75 valeurs sur 78 suivent l'ajustement; pour les pluies moyennes sur les bassins, même anomalie : 44 valeurs sur 49 à PASO de los TOROS et 43 valeurs à DURAZNO. Les valeurs exceptionnelles divergentes sont celles des années suivantes :

Rang	MONTEVIDEO	Bassin à PALMAR	Bassin à Paso de los TOROS	Bassin du YI
1	1914	1959	1959	1940
2	1959	1914	1914	1914
3	1912	1940	1941	1930
4		1941	1940	1959
5		1936	1936	1941
6				1936

../.

Ces années exceptionnelles ne sont pas toutes les mêmes ; on retrouve là un exemple de la non concordance exacte des régimes pluviométriques.

Cette divergence signifie simplement que les causes des précipitations en URUGUAY ne sont pas homogènes et que certaines causes n'interviennent que certaines années pendant lesquelles elles provoquent des précipitations fortement excédentaires. Nous retrouverons cette dualité des causes dans l'étude des pluies journalières responsables des crues exceptionnelles (Chapitre III).

L'ajustement de Gauss ne permet pas d'apprécier la fréquence de ces années très humides. On ne peut pas non plus en déduire la variabilité statistique des pluies annuelles (écart type, lois de variation de la moyenne et de cet écart-type).

L'ajustement graphique, très précis d'ailleurs, permet cependant d'évaluer les fréquences d'apparition des années sèches dont nous donnons un aperçu dans le tableau suivant :

Fréquence	MONTEVIDEO	Bassin du RIO NEGRO à PALMAR	B.R.N. à PASO de los TOROS	B.R.YI à DURAZNO
1/10	700	875	895	790
1/20	620	800	825	730
1/100	460	675	695	610

Dans l'étude des apports des Rios Negro et Yi et dans celle des sécheresses nous reviendrons sur les pluviométries et leurs apports avec les écoulements (Chapitre II).

CHAPITRE II

-=-=-=-=-=-=-=-=-=-=-=

LE REGIME DU RIO NEGRO

SECTION 1 - DONNEES D'OBSERVATIONS ET RELATIONS HAUTEURS-DEBITS -

1.1 - LECTURES d'ECHELLES -

Du sein de la nombreuse documentation fournie par la UTE, nous avons extrait pour notre étude certains relevés d'échelles en provenance de ce même organisme ou de la Direction d'Hydrographie du ministère des Travaux Publics. En voici l'inventaire avec un bref commentaire qualitatif.

- Le Rio Negro à Paso de los Toros de 1908 à 1944, observations complètes et valables.

- Le Rio Negro à Paso del Palmar de 1909 à 1944, relevés présentant de nombreuses lacunes et quelques erreurs; en outre les cotes d'étiage souvent négatives ne sont pas précisées, les relevés portant la valeur "zéro" plusieurs jours ou mois successifs.

- Le Rio Negro à Paso del Puerto de 1952 à 1961, données complètes et valables.

- Le Rio Yi à Durazno de 1917 à 1961, relevés effectués au pont du chemin de fer (AFE) présentant beaucoup de lacunes et accusant une forte imprécision surtout pour les basses et moyennes eaux.

- Le Rio Yi à Paso del Bote de Décembre 1953 à Juin 1956 (hydrographie), puis à nouveau depuis Mai 1961 (UTE); les relevés anciens de la Direction d'Hydrographie ont été harmonisés avec les mesures récentes de la UTE; l'ensemble est très valable.

Nous passerons sous silence les relevés des diverses stations du haut bassin du rio Negro qui servirent uniquement à titre de recoupements ou pour préciser l'aspect qualitatif du régime du fleuve.

1.2 - CALCUL DES DEBITS -

Les débits aux principales stations limnimétriques sont connus ou peuvent être estimés avec une bonne précision en ce qui concerne le Rio Negro.

Pour Paso de los Toros, nous avons conservé la courbe de transformation des hauteurs en débits établie par la UTE, d'après des jaugeages de 1930-1936, courbe confirmée par les récentes mesures de 1959. La précision est bonne pour la gamme des hauteurs observée de 1908 à 1944.

La courbe de hauteurs -débits à Paso del Puerto est-elle aussi correcte d'autant plus que des jaugeages au flotteur réalisés lors du maximum de la crue de 1959 ont permis de calculer les très forts débits avec une précision satisfaisante. Il n'en est pas de même pour Paso Palmar, où la courbe établie par la Direction d'Hydrographie sous-estime fortement les débits: le coefficient de passage de la vitesse superficielle (mesurée à l'aide de flotteurs) à la vitesse moyenne ayant été pris égal à 0,80, valeur trop faible.

Pour valoriser les relevés de Paso Palmar de 1909 à 1944 qui sont fondamentaux pour l'aménagement étudié, nous avons procédé à la reconstitution de la courbe hauteurs-débits de cette station par 3 approches différentes :

a) des jaugeages réalisés par la UTE au début de 1962, malheureusement limités entre 0,50 m et 2,10 m à l'échelle par suite de la sécheresse.

b) une corrélation d'échelle établie en 1932 par l'Ingénieur YOUNG entre Paso Palmar et Yapeyu (km 134) station étalonnée à cette époque. On apprécie ainsi les débits jusque vers 5 000 m3/s (environ 10,50 m à Palmar) ce qui correspond à peu près au maximum mesuré à Yapeyu.

c) une corrélation d'échelle avec Paso del Puerto établie à partir de lectures simultanées en 1961 et 1962 et lors de la crue de 1959. On estime ainsi plusieurs gammes de débits, entre 2 500 et 4 000 m3/s, au-delà de 7 000 m3/s et en-dessous de 600 m3/s.

Il résulte de ces analyses, que les débits à Palmar estimés à partir de Paso del Puerto, sont un peu forts, et par contre un peu faibles d'après Yapéyu tout au moins en hautes eaux. Cela est normal puisque Palmar est situé entre Paso del Puerto et Yapeyu et que l'onde de crue s'aplatit d'amont en aval.

../.

Entre 1000 et 3000 m3/s, les deux corrélations donnent presque les mêmes débits. Pour les basses eaux, les mesures directes précisent que la corrélation avec Yapeyu est la plus correcte. En tenant compte de ces indications nous avons dressé une courbe hauteurs-débits pour Palmar dont la précision est bonne, sauf peut-être pour les forts débits, au-delà de 6 000 m3/s, pour lesquels la réduction à prendre en considération à partir de Paso del Puerto est un peu délicate. L'erreur ne peut cependant dépasser 8 à 10 %. L'amélioration est considérable puisque la courbe ancienne était déficitaire de 15 % en basses eaux, 20 % en eaux moyennes, 30 % et plus en très hautes eaux (voir tableau N° 2-1).

L'évaluation des débits entrant dans le lac de BONETE, et déversés en aval, a été reprise pour la période 1945-1961 à partir des débits moyens mensuels calculés par la UTE, Les corrections portèrent sur les variations de volumes de la retenue, sur les déversements et sur les pertes par évaporation.

Pour ce faire, nous avons utilisé :

- les nouvelles courbes de volumes et de superficie du lac établies en 1960 par aérophotogrammétrie.

- la nouvelle courbe des débits du déversoir établie en 1961 après essai complet sur modèle réduit au Laboratoire de la Faculté d'Ingénieurs de Montevideo.

- les valeurs mensuelles de l'évaporation présentées au Chapitre I.

En ce qui concerne le Yi, le bilan est moins satisfaisant. En effet, les débits sont inconnus à Durazno; la sécheresse du début de 1962 n'a pas permis de combler cette lacune. Pour Paso del Bote, quelques 40 jaugeages effectués en 1961 par la UTE fournissent une bonne connaissance des débits jusque vers 1 000 m3/s, ce qui correspond approximativement à la crue annuelle. Malheureusement il n'y a que 3 ans de relevés à cette station et la trop grande différence de bassin versant avec Durazno ne permet pas d'obtenir une corrélation pour valoriser les 45 ans d'observations de cette deuxième station.

../.

I.3 - RELATIONS HAUTEURS-DEBITS POUR LES AVANT-PROJETS D'AMENAGEMENT -

Ces relations reposent sur une base unique : la courbe d'étalonnage de la station de Paso del Puerto. Pour les établir il a été nécessaire d'installer plusieurs échelles entre Paso del Puerto et Yapeyu; les emplacements choisis pour ces échelles tinrent compte à la fois des sites possibles de barrage, de l'existence de stations anciennes (Cerro Navarro, Paso Palmar, et Yapeyu) enfin des irrégularités du profil en long du fleuve et de l'emploi qui sera fait des relevés de ces échelles pour tracer les lignes d'eau et les courbes de remous.

En février 1962, nous disposions dans le bief de 12 échelles installées et rattachées au nivellement officiel. Sur le tableau 2.2 figurent toutes les échelles avec indication de leur position, de la cote de leur zéro et de la période d'observations.

Cinq de ces échelles font l'objet actuellement de lectures 2 ou 3 fois par jour. Les autres échelles installées loin de toute habitation n'ont été lues jusqu'ici que du 8 au 11 mars 1962; on avait alors profité d'une baisse de régime à Baygorria pour réaliser des observations simultanées aux douze échelles, toutes les deux heures.

Entre Cerro del Frances, Cerro Borches et Paso del Puerto, on avait déjà effectué en septembre 1961 une série de lectures simultanées à l'occasion d'une crue.

La plupart de ces échelles ne servent qu'à la détermination des lignes d'eau - Nous en avons retenu sept pour lesquelles le tracé de courbes hauteurs-débits était intéressant et possible ; nous allons les passer en revue. (Plan 2.3)

a)- Paso del Puerto - C'est la courbe de base, elle peut servir pour l'ouvrage de Paso del Puerto.

b)- Paso Palmar - Cette courbe déterminée comme il a été dit dans le paragraphe 12 de ce chapitre, sert surtout pour l'étude des débits.

c)- La Violina km 179,8 - Cette courbe sert pour l'ouvrage du même nom. Elle s'appuye sur une bonne correspondance d'échelle avec Paso del Puerto entre 13,25 m et 15,50 m soit pour des débits compris entre 150 et 800 m3/s - Pour tracer la partie haute de la courbe, nous n'avons qu'un point de repère à savoir la cote des délaissés de la crue d'avril 1959 (environ 29,10 m); le raccordement de 15,50 m

../.

à 29,10 m a été fait en adoptant une forme intermédiaire entre celles des courbes de Paso del Puerto et de Paso Palmar et en tenant compte du profil en travers du lieu.

Cette courbe, comme les autres, est arrêtée à 6 000 m3/s. L'erreur maximale sur la position de la courbe dans la partie haute doit être de l'ordre de ± 15 cm.

d)- Cerro del Francès - La correspondance avec Paso del Puerto couvre un ample marnage de 6 à 16 m (150 à 3 800 m3/s); elle est très précise sauf entre 10,50 m et 13 m, zone où doit se produire le noyage ou le dénoyage des sauts de Palmar et dans laquelle par conséquent, la relation n'est plus exactement univoque. L'extrapolation jusqu'à 6 000 m3/S s'appuie aussi sur la cote des laisses de crue de 1959 (environ 23 m). Cette courbe est certainement d'une bonne précision générale (± 10 cm).

e)- Profil Palmar - La courbe de Cerro del Frances permet de tracer une relation applicable à l'aval de l'ouvrage de Palmar. Les lectures simultanées de mars 1962 ayant donné 60 cm d'écart moyen entre ces 2 échelles, nous avons admis que la courbe du Profil Palmar était celle de Cerro del Francès (mêmes débits pour des cotes augmentées de 60 cm).

f)- Yapeyu. Section de jaugeages de 1932 - La courbe d'étalonnage établie en 1932 se réfère à une échelle disparue de zéro inconnu. L'échelle de Puerto Bichadero a été placée au même endroit. Des quelques relevés effectués en mars et mai 1962, nous avons estimé que la cote du zéro de cette ancienne échelle pouvait être pris égale à 2,90 m à 15 cm près.

La forme de cette courbe a facilité l'extrapolation de la courbe de Cerro Borches.

g)- Cerro Borches - Cette échelle la plus aval, est cependant quelques kilomètres en amont du site étudié pour Yapeyu.

Elle peut cependant servir car la pente est faible dans cette zone et la différence de niveau entre les 2 points est surement inférieure à l'imprécision de la courbe (± 20 cm environ).

../.

En effet, l'éloignement de Paso del Puerto et la présence d'affluents intermédiaires nuisent à la précision de la correspondance d'échelles établie tant bien que mal entre 3,25 m et 13 m (150 et 3700 m^3/s). On a utilisé la cote des laissés de 1959 (environ 19,30 m) pour l'extrapolation.

Il est regrettable qu'en mai 1962 aucune crue, disons même de l'ordre de 1000 à 1500 m^3/s, n'ait permis de réduire la marge d'imprécision de ces relations hauteurs-débits. Cela pourra vraisemblablement être fait plus tard pour le site choisi.

SECTION 2 - ETUDE DES APPORTS -

Nous envisagerons en premier lieu les apports du haut bassin à la retenue de Bonete puis ceux de la totalité du bassin alimentant le bief des ouvrages projetés. Dans cette étude on traitera des débits moyens mensuels, des modules et de leurs relations avec les pluies.

2.1 - LES APPORTS AU BIEF RINCON DEL BONETE-PASO DE LOS TOROS -

Les données d'observations transformées en débits (comme il a été dit au paragraphe L.2 de ce chapitre) sont rassemblées dans les tableaux suivants présentés en annexe :

- tableau 2.4 : débits moyens mensuels et modules du Rio Negro à Paso de los Toros - 1908-1944
- tableau 2.5 : débits caractéristiques de crue, de 3, 6 et 9 mois et d'étiage à Paso de los Toros de 1916 à 1944 seulement car les débits journaliers sont inconnus avant 1916.
- tableau 2.6 : débits moyens mensuels et modules des apports à Bonete - 1945-1961.
- tableau 2.7 : débits moyens mensuels et modules des déversements de Bonete - 1945-1961
- tableau 2.8 : coefficients et déficits d'écoulements annuels calculés à partir des pluies moyennes et des lames d'eau écoulées sur le bassin en amont de Paso de los Toros (ou Bonete) de 1912 à 1960.

../.

Durant la période de 37 ans à PASO de los TOROS, la répartition mensuelle moyenne se présente comme suit (en m^3/s) :

Jv	Fv	Ms	Av	M	Jn	Jt	At	S	O	N	D
138	169	222	449	770	755	879	862	873	686	296	309

Il s'agit d'un régime apparemment simple dont les hautes eaux s'étendent de Juin à Octobre et avec des basses eaux en Janvier et Février.

En fait, les débits d'un mois donné sont aussi dispersés que les hauteurs de précipitations; l'évaporation a une action déterminante sur l'existence des périodes de hautes eaux et de basses eaux.

Cette irrégularité mensuelle est depuis 1945 fortement tempérée par la retenue de BONETE, ce qui réduit d'autant la dispersion qui affecte les apports aux nouveaux aménagements.

Le coefficient d'écoulement annuel oscille de 1 à 10 entre des extrêmes 6,5 % en 1917 et 61,3 % en 1914; sa moyenne de 37,1 % à PASO de los TOROS n'est que de 32,6 % à BONETE bien que la pluviométrie de 1945-1960 (1213 mm) soit légèrement supérieure à celle de 1912-1944 (1174 mm). Les 2 séries de modules ont pour moyennes 536 et 503 m^3/s ou encore 436 et 395 mm; les écarts-type valent respectivement 249 et 185 mm. Un tel écart est surprenant. Cependant, l'analyse statistique par les tests de FISHER et de SNEDECOR ne donne pas cet écart comme significatif d'une divergence des2 séries. Nous restons cependant avec un léger doute sur cette divergence. En effet, les relations annuelles pluie-écoulement qui accusent des coefficients de corrélation étroite : 0,90 et 0,94 respectivement pour TOROS et BONETE, sont assez différentes :

- A PASO de los TOROS E_T = 0,840 (P - 655)
- A BONETE E_B = 0,740 (P - 684) (1)-(voir graphique 2-9).

---

(1) Relations estimées en mm, en fonction de la pluie moyenne annuelle P et qui donnent la lame d'eau écoulée E_T ou E_B.

En utilisant la première, on peut estimer l'écoulement moyen de la période 1947-1961 (1), tel qu'il aurait été sans le barrage. On trouve 487 mm. Or, les déversements de BONETE durant cette période n'ont pour moyenne que 476 m^3/s soit 380 mm.

Cette différence moyenne de 107 mm n'est que partiellement comblée par les pertes estimées de la retenue : 1440 mm d'évaporation et 50 millions de m^3 d'infiltration mensuelle qui font respectivement 36 et 15 mm de lame d'eau annuelle sur le bassin, soit 51 mm au total. Cela pourrait s'expliquer par :

- une sous-estimation des pertes par évaporation et surtout par infiltration de la retenue,

- une sous-estimation des débits turbinés et surtout déversés,

- une surestimation, peu vraisemblable, des débits à PASO de los TOROS.

Aucune de ces hypothèses n'est actuellement ni satisfaisante ni vérifiable.

C'est pourquoi, l'analyse statistique à l'appui, nous avons considéré les séries de débits de PASO de los TOROS et de BONETE comme homogènes et nous les avons jumelés. La série complète de 1908 à 1961 a une moyenne de 526 m^3/s (16,6 milliards de m^3/s) et un écart-type de 311 m^3/s (415 mm et 245 mm).

Que vaut cette moyenne observée sur 54 ans par rapport à la moyenne vraie ? Statistiquement, elle peut osciller entre 456 et 596 m^3/s si l'on prend un intervalle de confiance de 90 % cette fourchette est grande parce que l'écart-type, c'est-à-dire la dispersion interannuelle l'est aussi.

Pratiquement cette moyenne semble correcte. D'une part, elle peut paraître un peu faible puisque les débits à BONETE sont vraisemblablement sous-estimés; d'autre part, elle doit être un peu forte car la pluviométrie de la période 1912-1960 dépasse nettement celle de la période 1883-1960 (respectivement 1075 et 987 mm à MONTEVIDEO. Nous pensons que ces deux tendances antagonistes s'annulent et que la moyenne peut-être prise égale à 526 m^3/s.

Autour de cette moyenne de 526 m^3/s (13 l/s.km^2 environ) la dispersion est difficile à préciser, les modules comme les pluviométries ne procédant pas de causes simples, ne suivent pas la loi classique. On doit se contenter d'examiner l'échantillon dont on dispose, duquel peuvent seulement être extraites les valeurs approximatives des modules de fréquence décennale : environ 1000 m^3/s et 150 m^3/s.

---

(1) Il n'a pas été tenu compte des années 1945-46 durant lesquelles s'est effectué le remplissage de la retenue.

2.2 - LES APPORTS AU BIEF PASO del PUERTO-PALMAR -

Le régime du fleuve dans ce bief ne doit guère différer de celui du haut bassin. Le seul élément nouveau est le RIO YI, très mal connu. On peut cependant donner un aperçu de l'influence du RIO YI en étudiant les débits observés à PASO del BOTE en 1954-1956 et 1961, durant 35 mois. Ces débits sont en corrélation étroite (c = 0,95) avec ceux du bassin total compris entre BONETE et PASO del PUERTO. Entre débits mensuels, on a les relations:

$$PB = 0,655\ (PP-DB)-61,$$
$$PP-DB = 1,42\ PB+100 \quad (1)$$

Si le RIO YI avait un régime identique au RIO NEGRO les débits devraient être dans le rapport des bassins versants, à savoir $\frac{22\ 400}{12\ 730}$ soit 1,76.

Il y a en fait une divergence avec les relations linéaires calculées, divergence qui se manifeste par un déficit prononcé du RIO YI en basses et moyennes eaux (environ 10 % pour le module) en-dessous de 400 m^3/s mais par un excédent au-delà de 600 m^3/s.

Cette irrégularité plus prononcée du RIO YI, nous l'avions déjà pressentie à l'examen du complexe physique du bassin.

Venons-en maintenant aux apports proprement dits dans le bief de PASO del PUERTO-PALMAR. Nous ne disposons pas ici de série complète d'observations. Il y a de nombreuses lacunes dans les relevés de PALMAR (1909-1944) et 4 mois en 1959 dans ceux de PASO del PUERTO (1952-1961). Font en outre complètement défauts, les années 1908, 1916 et 1945 à 1951.

En ce qui concerne PALMAR, nous avons procédé à trois reconstitutions des débits manquants :

a) A l'aide des courbes de tarissement pour les quelques 50 mois d'étiage sans relevés ce qui a donné des débits peu précis en eux-mêmes, mais suffisants pour calculer des apports mensuels.

---

(1) PP PASO del PUERTO
DB Déversement de BONETE
PB PASO del BOTE

../.

b) Par corrélation (c = 0,96) des débits moyens mensuels avec PASO de los TOROS suivant la relation :

$$PM = 1,42\ PT+52 \quad \text{en } m^3/s \qquad (1)$$

c) En contrôlant les résultats de la relation précédente par celle entre les pluies et l'écoulement pour estimer les années sans relevés : $E_M = 0,795\ (P-643)$ en mm (2).

Cette corrélation a un coefficient de 0,91.

L'abstraction de certains facteurs (pluies durant les tarissements, influence du RIO YI etc...) conduit à des débits mensuels et annuels estimés moins dispersés qu'ils n'ont dû être.

Pour PASO del PUERTO, nous avons procédé uniquement par corrélation des débits moyens mensuels avec les apports à BONETE et les déversements de cette retenue (en m^3/s) :

$$PP = 0,952\ B+277 \qquad c = 0,92$$

$$PP = 1,52\ DB+92 \qquad c = 0,92$$

La relation pluie-écoulement perturbée par les emmagasinements de BONETE n'est pas utilisable, le coefficient de corrélation ne vaut que 0,63.

Notons que les apports des années 1945-1946 ont été estimés comme si la retenue de BONETE était déjà remplie, afin de ne pas fausser les moyennes à PASO del PUERTO par 2 valeurs anormalement faibles.

On trouvera en annexe les débits moyens mensuels et modules à PASO del PALMAR de 1909 à 1944 (tableau 2-10) et à PASO del PUERTO de 1952 à 1961 (tableau 2.11).

Le tableau 2.12 donne les débits caractéristiques d'années sans lacune aux 2 stations, ce qui permet d'apprécier le rôle de la retenue de BONETE sur les apports dans ce bief.

---

(1) PM PALMAR - PT PASO de los TOROS.

(2) EM écoulement à PALMAR - P pluie moyenne annuelle.

../.

Enfin coefficients et déficits d'écoulements annuels de 1912 à 1961 sont rassemblés dans le tableau 2.13. On retrouve la même irrégularité que pour le haut bassin, le coefficient d'écoulement avec 35 % de moyenne peut atteindre des extrêmes de 8,6 % (1943) et de 58,4 % (1914), en ce qui concerne PASO PALMAR. On retrouve aussi la même anomalie entre les 2 stations; pour une pluviométrie moyenne plus élevée (1175 mm) PASO del PUERTO de 1945 à 1960 a un module moyen de 784 m^3/s (399 mm), inférieur à celui de PASO PALMAR qui atteint 809 m^3/s (411 mm) pour la période 1912-1944 moins arrosée (1143 mm). Cependant la divergence est moins accusée qu'entre les stations amont. Et d'ailleurs ici il n'est pas question d'essayer de comparer les 2 séries. En effet, la présence de la retenue de BONETE modifie les conditions du régime à PASO del PUERTO de 2 manières :

a) en diminuant les apports d'une quantité équivalente aux pertes dans cette retenue, qui sont théoriquement d'environ 65 m^3/s soit quelque 8 % de la moyenne de la série de PALMAR.

b) en tempérant fortement la dispersion interannuelle de ces apports, donc la variance de la série de PASO del PUERTO.

Les 2 séries sont différentes. Remarquons qu'en utilisant la relation pluie-écoulement et la correction d'hydraulicité on peut estimer le module moyen qui aurait transité dans le bief de 1945 à 1960 si BONETE n'avait pas existé; on trouve 858 m^3/s soit 74 m^3/s de plus que la moyenne à PASO del PUERTO, écart qui confirme la modification de régime dû aux pertes dans BONETE.

En écoulement naturel, durant la période 1912-1960, l'apport moyen aurait été de 825 m^3/s. Cette estimation doit être trop forte en regard de la moyenne vraie, la pluviométrie de la période paraissant excédentaire devant celle de 1883-1960 par exemple. Une valeur égale ou légèrement inférieure à 800 m^3/s serait plausible.

La plupart des débits de PALMAR ayant été estimés par corrélation, leur dispersion est atténuée; aussi ne peut-on pas analyser sur ces données ni l'irrégularité interannuelle ni la fourchette de variation de la moyenne estimée. Il est cependant possible de se faire une idée de cette irrégularité en considérant que le coefficient de variation du module à PALMAR est au moins égal à celui de PASO de los TOROS, le RIO YI n'étant pas un facteur de modération. Pour la série amont de 1908-1961, on avait $C_v = \frac{311}{526} = 0,591$. En premant

../.

0,60 pour PALMAR, on estime ainsi l'écart-type de la série des modules en ce lieu à 480 m^3/s ce qui conduit à une fourchette de 690 à 910 m^3/s pour la moyenne dans l'hypothèse d'un intervalle de confiance à 90 %.

Pour l'estimation des apports aux nouveaux aménagements, il faut considérer uniquement le régime du RIO NEGRO modifié par la retenue de BONETE, sur lequel nous n'avons que 17 ans d'observations de 1945 à 1961 à BONETE et 10 ans à PASO del PUERTO de 1952 à 1961.

Les apports moyens sont de 795 m^3/s pour les 10 années connues; pour la période 1945-1961 on les a estimés à 780 m^3/s. Nous ne disposons d'aucun moyen correct pour accroître cette période ; il faut se contenter d'utiliser les données disparates de PALMAR en tenant compte de la consommation de la retenue de BONETE. C'est ainsi que l'on est amené à envisager pour l'apport moyen a PASO del PUERTO un débit d'environ 725 m^3/s, soit 23 milliards de m^3 et 11,5 $l/s.km^2$.

Quelle valeur attribuer à ce débit et quelle irrégularité l'affecte ? Il est très difficile de répondre avec précision à ces 2 questions.

La dispersion des modules à PASO del PUERTO dépend du régime irrégulier du YI et du régime temporisé du RIO NEGRO à BONETE.

Si l'on étudie la dispersion des modules des déversements de BONETE de 1947 à 1961, on trouve un coefficient de variation $C_v = \frac{190}{466} = 0,408$.

Le coefficient de variation du YI doit être comparable à celui du RIO NEGRO à PASO de los TOROS, c'est-à-dire 0,60. Pour PASO del PUERTO, on peut admettre un coefficient de variation intermédiaire, à savoir 0,45, l'influence du RIO NEGRO étant supérieure à celle du YI. On peut calculer ainsi une valeur approchée de l'écart-type des modules : 325 mm et en déduire la fourchette dans laquelle la moyenne de ces modules, choisie à 725 m^3/s, peut osciller, on trouve 650 et 800 m^3/s avec un intervalle de confiance de 90 %.

.../.

SECTION 3 - ETIAGES ET SECHERESSES -

Le problème des faibles apports est double ; à l'échelle annuelle il s'agit des étiages (débit instantané ou débit caractéristique d'étiage DCE) ; à l'échelle pluriannuelle, il s'agit de séries possibles de sécheresses. Nous examinerons ces 2 questions en essayant simplement de préciser les risques d'apparition des étiages et des sécheresses avec la fréquence décennale comme base de référence.

3.1 - LES ETIAGES -

Chaque année, la période la plus sèche coïncide généralement avec celle des fortes chaleurs ; elle conditionne l'apparition des basses eaux dans le RIO NEGRO. A titre indicatif, nous avons analysé par la méthode "intensités-durées-surfaces" les périodes sans précipitations supérieures à 10 mm par décades. On constate ainsi que pour des bassins de la superficie de ceux du RIO NEGRO à PASO de los TOROS et à PALMAR une période sèche de 30 jours peut survenir avec une récurrence de 2 à 3 ans; la récurrence s'élève bien au-delà de 100 ans pour 60 jours secs. Sans entrer dans le détail, nous pouvons penser que la fréquence décennale s'applique à une période sèche de 40 jours au plus.

Ces sécheresses provoquent le tarissement des débits des cours d'eau dont l'analyse est intéressante. Malheureusement en URUGUAY, les tarissements sont rarement purs, des pluies parasites les perturbent; en outre, les relevés d'échelle en basses eaux sont peu précis.

Il n'a pas été possible, même pour PASO de los TOROS de trouver la courbe de tarissement moyenne ni d'en donner une représentation exponentielle. A PALMAR, ceci était impossible car les lectures d'échelles ne sont souvent faites que de 5 en 5 cm, et sont inexistantes en-dessous du zéro.

Que peut-on dire des débits d'étiage annuel ? Leurs valeurs, pour PASO de los TOROS et PALMAR, figurent dans les tableaux 2.14 et 2.15.

On remarque que la période d'étiage s'étend de Décembre à Avril, 80% des étiages survenant durant le ler trimestre à PASO de los TOROS ; à PALMAR, la période d'apparition est plus étendue peut-être parce que les phases de sécheresse ne coïncident pas exactement sur les bassins du YI et du RIO NEGRO.

../.

A PASO de los TOROS, les étiages ne sont connus que par 2 jaugeages de 1936 (0,67 m et 0,68 m pour 70,7 et 73,5 m^3/s) et par une mesure de vitesse superficielle faite en 1960 (0,90 m et 13 m^3/s). La précision est toute relative. Nous pensons que pour des cotes inférieures à 0,20 m, l'erreur possible est de ± 25 % ; elle doit atteindre plus ou moins 50 % en dessous de zéro. On a admis que l'étiage minimum observé en 37 ans, soit -0,15 m, valait 1 m^3/s (0,025 $l/s.km^2$).

Ces débits d'étiage, tels qu'ils sont, ont une valeur moyenne égale à 18 m^3/s; la valeur médiane est 12 m^3/s (0,03 $l/s.km^2$), et la valeur décennale serait environ : 3 m^3/s (0,075 $l/s.km^2$).

Il est pratiquement impossible de se livrer à la même analyse pour PALMAR, dont les débits qui furent estimés par corrélation sont très peu précis surtout en dessous de 20 m^3/s, et dont les relevés d'étiage, en dessous du zéro, sont inconnus 12 années sur 37. Pour approcher de la vérité il est préférable d'examiner les résultats des campagnes de jaugeages de 1961-62 menées par la UTE en liaison avec SOFRELEC et par HARZA.

Ces mesures réalisées sur les principaux cours d'eau du bassin en amont de BONETE et sur le YI permettent d'estimer, quand il n'a pas été mesuré, le débit d'étiage de 1962. On trouvera dans le tableau 2-16 la liste des débits minimums jaugés et celle des étiages spécifiques que nous en avons déduit. Cette déduction à partir des jaugeages, et des relevés d'échelles, est assez précise.

Les conclusions sont claires : les cours d'eau drainant les grès du Nord du bassin ont un étiage relativement abondant de 0,20 $l/s.km^2$. Les Rios YAGUARI et NEGRO drainant des bassins plus argileux ont des étiages plus rigoureux, entre 0,05 et 0,15 $l/s.km^2$.

Le Rio YI coulant sur le socle cristallin à un étiage très faible en amont (0,05 $l/s.km^2$) qui semble s'améliorer vers l'aval (0,10 $l/s.km^2$) où se trouvent des zones sédimentaires et des basaltes.

On peut estimer sans trop d'erreur le débit d'étiage reçu par le lac de BONETE en 1962 à 0,10 $l/s.km^2$ soit 4 m^3/s. Il s'agit là d'une valeur de fréquence quasi-décennale.

En tenant compte des apports du YI et en régime naturel, l'étiage à PASO PALMAR du RIO NEGRO aurait pu être de 7 m^3/s en 1962, année sèche de récurrence décennale ou presque.

Maintenant que le fleuve est régularisé, la seule question intéressante est de connaître les apports minimums disons en année normale et en année décennale sèche que fournit, en appoint aux déversements de BONETE, le bassin intermédiaire en amont de PASO del PUERTO.

On peut considérer que les valeurs spécifiques des débits seront les mêmes que celles enregistrées pour le RIO YI et à PASO de los TOROS. Ainsi, en année normale, c'est-à-dire l'année qui se produit avec une fréquence 0,5 et dont l'étiage est la médiane de la série, on peut prendre 0,3 $l/s.km^2$ soit environ 7 m^3/s.

En année décennale sèche, il ne faudra pas compter sur plus de 0,1 $l/s.km^2$, soit 2,5 m^3/s environ.

3.2 - LES PERIODES DE SECHERESSE -

Pour les futurs aménagements, le débit d'étiage qui survient quelques jours par an, n'a qu'un intérêt secondaire, le régime étant partiellement régularisé par la retenue de BONETE et l'appoint en étiage du bassin intermédiaire ne représentant qu'un pourcentage infime du débit déversé à BONETE.

Par contre, le rythme d'exploitation de la retenue de BONETE et par conséquent, la productibilité et la puissante garantie de l'aménagement aval dépendent étroitement du volume écoulé lors d'une année sèche et du risque de voir plusieurs années sèches successives. Nous allons examiner ce phénomène de sècheresse sous ses deux aspects.

3.2.1 - L'ANNEE DECENNALE SECHE -

On peut estimer les apports de deux manières distinctes. Tout d'abord en procédant à un ajustement graphique des modules classés - puisqu'ils ne suivent pas la loi classique - Avec notre série de 37 années, on obtient pour la fréquence 1/10 : 150 m^3/s à PASO de los TOROS et 250 m^3/s à PALMAR.

../.

Comme nous disposons d'une série plus longue de pluies annuelles (49 ans), on peut refaire l'estimation en passant par les relations "pluie-écoulement" et l'on trouve 250 m^3/s pour PASO de los TOROS et 360 m^3/s pour PALMAR.

Cette divergence peut s'expliquer car :

- la série des modules qui comprend des années (1916-17 et 43) de fréquence certainement plus rare que 0,1 doit être trop sévère et les débits obtenus trop faibles ;

- la série des pluies couvre une période de 49 ans plus abondante que celle de 1883-1960, et doit donc fournir des valeurs un peu élevées mais plus justes que les précédentes, la série observée étant plus longue.

On pourrait adopter par exemple :

- A PASO de los TOROS 220 m^3/s ou 7 milliards de m^3

- A PALMAR 330 m^3/s ou 10,5 " " "

Pour l'aménagement futur, les conditions naturelles étant modifiées, on ne peut utiliser ni les modules classés à PASO del PUERTO ni la relation "pluie-écoulement".

En reprenant le raisonnement ébauché précédemment (section 2) sur la dispersion des apports à PASO del PUERTO, on trouve à l'aide des données de 1947-1961 à BONETE que l'apport décennal sec serait d'environ 300 m^3/s. Mais cette période récente est bien trop abondante, surtout avec 1959, et il serait raisonnable de retenir un chiffre plus faible qui, par rapport à PALMAR et compte tenu des pertes dans le lac de BONETE, pourrait être choisi égal à 270 m^3/s soit 8,5 milliards de m^3.

3.2.2. - LE RISQUE D'ANNEES SECHES CONSECUTIVES -

Avant d'essayer d'évaluer ce risque de sécheresses, nous avons abordé le problème de front en recherchant systématiquement dans les observations pluviométriques si n'apparaissent pas de telles phases de sécheresse. Leur apparition est certaine, mais on ne peut leur affecter aucune période de retour bien nette; ce phénomène, s'il est cyclique, est trop complexe. Nous avons simplement constaté, sans pouvoir ni en trouver les raisons ni en dégager les conséquences, que les précipitations étaient bien moins abondantes de 1883 à 1912 par exemple que durant la période contemporaine lui faisant suite. On trouve par exemple 838 mm et 1075 mm de moyenne pluviométrique à MONTEVIDEO pour ces 2 périodes.

../.

En conséquence les périodes sèches sont plus nombreuses durant les 29 premières années que durant les 49 suivantes; on compte ainsi à MONTEVIDEO 6 couples d'années ayant une moyenne inférieure à 800 mm contre 2 ; 3 périodes de 3 années contre une et 3 périodes de 5 années contre aucune, durant les mêmes époques (1883-1911 et 1912-1960), ont eu aussi des moyennes inférieures à 800 mm.

Dernière constatation intéressante : les phases sèches sont généralement le fait de 2, 3 et 4 années consécutives; une année sèche isolée est plus rare. Ceci se vérifie en remontant dans le temps au-delà de 1883. Ed. ACEVEDO signale dans ses "Anales Historicas del URUGUAY" les grandes sécheresses de 1865-66-67 et de 1877-78 et 79.

Pour évaluer ce risque de sécheresse avec plus de rigueur, et pouvoir le chiffrer, il vaut mieux étudier les débits à PASO de los TOROS et PALMAR même si les périodes d'observations sont plus courtes.

Nous avons suivi le processus suivant : rechercher les années, ou groupes d'années consécutives, qui n'ont eu à PASO de los TOROS et à PALMAR qu'un écoulement égal ou inférieur à 75 et 50 % de l'apport moyen annuel. Ces limites correspondent à :

	75 %	50 %
PASO de los TOROS	395 m^3/s ou $12,5.10^9$ m^3	265 m^3/s ou $8,3.10^9$ m^3
PASO PALMAR	600 m^3/s ou 19.10^9 m^3	400 m^3/s ou $12,5.10^9$ m^3

Les années répondant à ces critères figurent dans le tableau joint. On y remarque tout de suite, qu'à de très rares exceptions près, les années incriminées sont les mêmes à PASO de los TOROS et à PALMAR.

Si l'on porte son attention sur la liste des années sèches à PASO de los TOROS et à BONETE, on constate que les années isolées sont peu nombreuses. Elles peuvent d'ailleurs être compensées partiellement, tout au moins celles dont l'écoulement est compris entre 50 et 75 % de la moyenne, en utilisant les réserves de BONETE. On peut en effet admettre que la compensation est réalisée quand on obtient un écoulement

../.

ANNEES A ECOULEMENTS INFERIEURS A 75 % ET 50 % DU MODULE

PASO de los TOROS et BONETE (1908-1961)		PASO PALMAR (1909-1944)	
E 75 %	E 50 %	E 75 %	E 50 %
1909-10-11	1909	1909-10-11	1909-10
1916-17-18-19	1916-17	1916-17-18-19-2P-21	1916-17
1924		1924	
1927-28-29		1927-28-29	
1931			
1933-34-35	1933-35	1933-34-35	1933-35
1939		1939	
1943-44-45-46-47-48-49	1943-44-45-46	1943-44	1943-44
1951	1951		
1953			
1955			
1957			

égal à 90 % de la moyenne, ici 475 m^3/s ou 15 milliards de m^3. On aurait pu réaliser cette compensation, pour 6 des 7 années "noires" isolées, en prélevant 2,5 à 3 milliards de m3 sur les réserves de la retenue. Ce prélèvement est concevable dans une retenue maintenue vers 82 m. en Octobre, après les crues Il y a 2 m. de pertes par évaporation et infiltration. Le niveau net de départ est donc 80 m. Le prélèvement descendrait le niveau entre 77 et 77,50 m après une année d'exploitation à 90 % du régime moyen.

Par ce moyen, les années noires isolées, tant qu'elles ont des écoulements supérieurs à 50 % de la moyenne, peuvent être récupérées.

Il resterait ainsi durant la période de 54 ans, 5 phases sèches de 3,4 et 7 années consécutives. A ce phénomène, une récurrence décennale peut être appliquée.

La récupération des années très sèches (inférieures à 50 %) et isolées serait concevable mais elle demanderait un prélèvement excessif à la réserve de BONETE, puisque supérieur à 6,5 milliards de m^3 et en outre il semble que ces années très sèches ne se produisent que rarement seules. Durant les 54 années d'observations, on a enregistré 3 phases de 2 et 4 années sèches et 2 années isolées dont l'une appartenait à une phase de 3 ans inférieure à 75 %. On retrouve une périodicité sensiblement décennale.

En conclusion, nous pourrions dire que pour l'exploitation de la retenue de BONETE, il y a un risque décennal de voir se présenter 3 années à écoulement inférieur à 75 % de l'apport moyen, 2 de ces années n'atteignant pas 50 % de cet apport moyen. La compensation par prélèvement sur les réserves de BONETE permet de ne pas se soucier des années isolées à 75 %.

La phase sèche de récurrence décennale devrait donc sévir 2 ou 3 ans suivant que la 1ère année fournit ou non plus de 50 % de l'apport moyen.

Ces conclusions, obtenues pour l'exploitation de la retenue de BONETE, doivent pouvoir s'appliquer dans leurs grandes lignes à l'aménagement futur de PALMAR puisque les phases sèches y sont les mêmes qu'à BONETE et que le débit de déversement de BONETE en constitue l'alimentation principale.

En ce qui concerne la détermination de la puissance garantie pour le futur ouvrage, le choix de la période 1943-45 est excellent. Il s'agit de la phase sèche la plus longue de la

../.

période d'observations, avec 7 années d'écoulement moyen inférieur à 75 % dont 4 années inférieures à 50 %. Les deux plus sèches années 1943 et 1944 ont des débits de récurrence très longue d'au moins 20 ans. Il est très vraisemblable de considérer la sévérité de cette phase sèche comme présentant une fréquence inférieure à la fréquence décennale (1/20 peut-être).

SECTION 4 - LES TRANSPORTS SOLIDES -

L'absence totale de crue depuis Décembre 1961 ne nous a pas permis de faire des mesures efficaces.

En matière d'éléments en suspension, nous n'avons procédé qu'à deux prises d'échantillons dont voici les résultats :

PASO del BOTE	: 21-3-62	1,5 m^3/s	25 g/m^3
PASO PALMAR	: 29-3-62	350 m^3/s	100 g/m^3.

La première correspond à un débit d'étiage sévère du YI, la deuxième au débit régularisé par BONETE dans le bief aval. Les teneurs obtenues sont faibles, mais elles indiquent la certitude de transports en suspension assez importants en hautes eaux et qu'il serait opportun de mesurer.

En ce qui concerne les transports de sable, par charriage, saltation et même suspension, nous sommes persuadés qu'ils existent en quantité non négligeable lors de fortes crues. Le seuil de débit pour leur mise en mouvement reste à déterminer. La crue de 1959 a laissé un peu partout des bancs de sable témoins de la réalité de ce transport. Le lac de BONETE, dans sa partie amont, quand il est assez bas, laisse aussi apparaître des plages sableuses dues à des dépôts récents.

Pour l'aménagement du bief aval, seul le RIO YI peut être une source de sables; son substratum cristallin laisse augurer qu'il ne faut pas craindre des apports très importants. Ce point devra cependant être vérifié dès qu'une crue importante surviendra.

C H A P I T R E III

ETUDE GENERALE DES CRUES

SECTION 1 - LES CRUES DU RIO NEGRO A RINCON DEL BONETE

1.1 - GENERALITES SUR LE REGIME DES CRUES AVANT 1945 -

Les caractéristiques du régime, mises en évidence à l'occasion de l'étude des facteurs conditionnels, se retrouvent dans les conditions d'apparition des crues à toutes les stations du RIO NEGRO. A priori, il n'y a pas de saison de crues et de saison d'étiage bien différenciées; mais, bien entendu, compte tenu du régime des précipitations d'une part et de la moindre évaporation hivernale d'autre part, l'éventualité d'apparition des crues est plus grande en hiver.

Les systèmes dépressionnaires, générateurs des précipitations sur les pays de la PLATA, donnent généralement lieu à des phases pluvieuses affectant l'URUGUAY durant 2 à 5 jours.

A une telle impulsion, répond sur le bassin du RIO NEGRO à PASO de los TOROS (40 335 km^2) une onde de crue qui culminera 10 à 15 jours plus tard, et dont la durée pourra s'étendre de 40 à 50 jours. Une si longue période d'écoulement reste rarement sans qu'il s'y produise une ou plusieurs autres phases pluvieuses dont les ondes résultantes viendront gonfler la montée ou la descente de l'onde primaire. Ainsi s'explique l'aspect dentelé de l'hydrogramme du RIO NEGRO, sur lequel on observe certaines années abondantes, jusqu'à dix pointes de crue. La plupart sont dépendantes les unes des autres; cependant pour un grand nombre, l'influence de la crue précédente, mis à part son rôle saturateur des terrains, est négligeable, la fin du tarissement n'affecte peu ou pas l'importance du débit maximal de la crue suivante qui peut alors être considérée comme indépendante.

../.

De telles crues indépendantes sont observées chaque année, il peut s'en produire annuellement jusqu'à 6, en 1914 par exemple. Pour se faire une idée de leur nombre et de leur répartition dans le temps, nous avons groupé sur le tableau n° 3.1 toutes les crues indépendantes observées à PASO de los TOROS de 1908 à 1944, dont le débit maximal excéda 1500 m^3/s (37,5 l/s.Km^2). Il y en eut 83, qui se répartirent finalement ainsi :

Mois	Jv	Fv	Ms	Av	M	Jn	Jt	At	S	O	N	D
Nombre	1	1	5	7	10	6	11	13	16	8	2	3

Trois constatations s'imposent :

1) relative faiblesse des possibilités de crues estivales (5% pour Décembre-Février) -

2) subsistance en Juin d'une moindre hydraulicité, souvenir du second étiage des cours d'eau sud-brésiliens -

3) prépondérance du risque d'apparition (près de 50 %) au cours du trimestre Juillet-Septembre.

En ce qui concerne les débits maximaux atteints par ces crues, le classement par tranche de 500 m^3/s donne les résultats suivants :

Débits	1500 à 2000	2000 à 2500	2500 à 3000	3000 à 3500
Crues	29	14	18	10
Débits	3500 à 4000	4000 à 4500	4500 à 5000	5000 à 5500
Crues	4	2	1	5

Mais avant la période d'observations, les souvenirs de la génération actuelle ont permis d'estimer, d'après les cotes atteintes sous le pont ferroviaire à PASO de los TOROS, que deux fois à cette station, le RIO NEGRO draina un débit supérieur à 5480 m^3/s (maximum de 1918 et de la période 1908-1944). Il s'agit des crues de 1905 et de 1888 approximativement estimées à 5700 et 8000 m^3/s. Même s'il n'est connu qu'à 10 ou 15 %, le débit maximal de 1888 dépasse ses suivants immédiats d'environ 50 %; excédent considérable qui laisse déjà présager de la violence des crues du RIO NEGRO.

../.

Depuis la fermeture du barrage de RINCON del BONETE en 1945, que nous apportent les observations des 16 dernières années ? Beaucoup de renseignements, même s'il n'y avait eu que la crue exceptionnelle de 1959 dont nous reparlerons plus loin. Cependant nous savons que les apports du RIO NEGRO sont comptabilisés mensuellement et que leur étude journalière n'a pas été faite systématiquement.

Les quelques sondages que nous avons effectués personnellement dans cette nouvelle série d'observations (1945-1960) nous ont montré qu'une certaine distorsion semblait les séparer des données anciennes, c'est pourquoi nous avons estimé indispensable d'étudier séparément ces deux périodes.

1.2 - LA DUALITE DES FAMILLES DE CRUES DU RIO NEGRO AVANT ET APRES LA FERMETURE DE BONETE -

Avant d'aborder le côté mathématique de cette dualité, retournons aux sources c'est-à-dire aux modes de formation et de propagation de la crue dans le bassin du RIO NEGRO.

Près de PASO RAMIREZ, environ 180 km en amont de PASO de los TOROS, confluent le RIO TACUAREMBO et le RIO NEGRO drainant l'un et l'autre quelque 15 000 km². Le bassin du premier, aux pentes moyennes, possède un axe de drainage central Nord-Sud issu de RIVERA par le CUNAPIRU que prolonge le TACUAREMBO; sur cet axe s'articulent avec des angles de confluence aigus les quelques affluents tous importants (TACUAREMBO, CHICO, YAGUARI, CARAGUATÁ). Une telle structure est propice à la superposition des ondes de crues élémentaires et à l'envoi à PASO RAMIREZ d'un hydrogramme rapide et violent. A l'opposé, le RIO NEGRO a un réseau très dissymétrique : rejeté le long de sa frontière nord, son axe reçoit en rive gauche, avec des angles droits de confluence, un grand nombre d'affluents courts et drainant à peine 1000 km² chacun. Cette configuration, pour un bassin dont l'amont est marécageux et à faible pente, favorise la juxtaposition des ondes de crues élémentaires et la formation d'un hydrogramme plus long et moins violent que celui du Rio TACUAREMBO.

Après 300 km de cours, les deux fleuves confluent et vont associer leurs ondes de crue sur les 180 km de parcours restant, le long duquel leur bassin s'accroîtra de 30 % environ. Ce parcours commun s'effectuait avant 1945 dans un lit mineur sinueux, relativement bien dégagé de sa gangue forestière laquelle, bien que rejetée sur les rives ou dans le lit majeur, n'en continuait pas moins son rôle modérateur des fortes crues, dont l'écoulement hors du lit mineur subissait ainsi un laminage et une homogénéisation certaine des diverses pointes. Ainsi apparaissait à PASO de los TOROS, un hydrogramme de crue généralement régulier dans sa montée et sa descente, duquel émergeaient péniblement et de rares fois les pointes des diverses crues élémentaires.

../.

L'homogénéité du bassin versant laissait espérer qu'un hydrogramme type pourrait être mis en évidence. On trouvera en annexe le tableau n° 3.2 qui rassemble les caractéristiques des 9 crues choisies à cet effet. Toutes sont dues à des phases pluvieuses uniques, parfois doubles, d'une durée de 2 à 6 jours, par conséquent nettement inférieures au temps de montée des hydrogrammes résultants, temps dont la moyenne est de 13 jours. Il s'agit donc bien là d'averses et d'hydrogrammes unitaires, selon la terminologie issue de la méthode de L.K. SHERMAN.

La bonne homogénéité des 9 hydrogrammes a permis facilement d'en déduire un hydrogramme moyen type du bassin qui avec un ruissellement de 45 jours et pour un volume ruisselé de 5.10^9 m^3, présente un débit de pointe journalier de 3800 m^3/s.

Toutes les crues du RIO NEGRO à PASO de los TOROS étaient soit unitaires et par conséquent se déduisant par affinité de l'hydrogramme-type décrit, soit complexes et pouvant être récomposées en sommant plusieurs crues unitaires.

Que se passe-t-il depuis 1945 ? Le confluent des rios NEGRO et TACUAREMBO se trouve en tête de retenue, d'une retenue qui couvre, sur les 170 km en amont de BONETE, une superficie oscillant généralement entre 800 et 1200 km^2. Cette retenue constitue un lac unique dont l'isthme le plus étroit, celui de SAN GREGORIO, est cependant trop large pour créer une mise en vitesse lors de l'arrivée d'une très forte crue. On peut donc penser que les ondes de crues de chaque fleuve se transmettent dès leur arrivée dans la retenue presque instantanément à BONETE et qu'il en est de même pour chaque affluent entre PASO RAMIREZ et BONETE. Le remplissage de la retenue donne lieu à un certain amortissement mais il en est déjà tenu compte dans la reconstitution des débits y arrivant à partir des variations de niveau. Cette opération étant effectuée, l'amortissement du chenal de 170 km et de son cordon forestier a disparu. L'hydrogramme que l'on reconstruira à partir des observations à BONETE devrait présenter les 2 nouveaux traits suivants :

a) rapidité accrue de la transmission, donc des phases de montée et de descente.

b) réapparition des pointes de crues issues des divers cours d'eau et disparition de l'allure homogène.

Ces deux hypothèses se vérifient bien sur les crues examinées. Par exemple nous avons reconstitué les crues unitaires des 24 Avril 1950 et 1er Mai 1953, respectivement dues à des phases pluvieuses de 3 et de 2 jours. Remarquons tout de suite que cette reconstitution, si elle est correcte pour le volume

../.

écoulé et la forme de l'hydrogramme, manque de rigueur en ce qui concerne le débit journalier. En effet, l'élément essentiel du bilan de la retenue, à partir duquel s'effectue cette reconstitution, est la variation du niveau du lac sur laquelle la précision n'atteint que ± 2 cm en moyenne (forte influence du vent) c'est-à-dire ± 200 à 300 m^3/s.

Pour en revenir aux deux crues précitées, elles présentèrent l'une 2, l'autre 3 pointes séparées et atteignirent leur débit maximal en 4 jours, le ruissellement s'acheva après 16 et 23 jours. Les débits maximaux, ramenés à 5.10^9 m^3 de volume ruisselé, concourent vers 8000 m^3/s. Les averses responsables de ces deux crues n'étaient pas centrées sur le Haut-TACUAREMBO, comme c'est généralement le cas. Mais bien qu'elles aient surtout intéressé l'aval du bassin, la réduction du temps de montée dû au déplacement du centre de l'averse de l'extrémité amont à l'aval, n'excède pas 48 heures. La modification, on pourrait même dire <u>l'aggravation, de la forme de l'onde de crue est indéniable</u>.

On ne s'étonnera donc pas outre mesure si nous avons retrouvé, sans recherche exhaustive, une crue dont le maximum fut de 7000 m^3/s en Octobre 1956. Cette crue est le produit de 3 phases pluvieuses qui durèrent 3, 3 et 5 jours avec des accalmies de 5 et 9 jours : il s'agit donc d'une crue polygénique due aux interférences des impulsions élémentaires visibles sur l'hydrogramme "déchiqueté" qui ne présente pas moins de 4 pointes. Ce mode de formation polygénique des fortes crues est général comme nous le verrons plus loin. Deux journées reçurent plus de 100 mm sur une bonne partie du bassin; il tomba au total 388 mm en moyenne durant 23 jours, desquels ruisselèrent 66 % soit 10 milliards de m^3.

La reconstitution d'une telle crue par la méthode des hydrogrammes unitaires n'aurait pas été facile d'une part parce que la recherche de ces hydrogrammes dans le bilan de la retenue est malaisée et peu précise, ni intéressante d'autre part car ce n'est pas à notre avis la bonne méthode pour évaluer les crues exceptionnelles. Nous avons préféré réaliser cette reconstitution à partir des précipitations en calculant un hydrogramme synthétique d'après la méthode française de LARRIEU. Le principe en est simple et rationnel puisque l'on déduit la crue des pluies élémentaires de leur répartition dans le temps et l'espace et de la durée de parcours des eaux ruisselées en fonction de la distance à l'exutoire. Nous développons dans l'annexe 1 cette méthode de calcul de l'hydrogramme synthétique et son application à la crue de Septembre-Octobre 1956.

../.

Les conclusions sont satisfaisantes. L'hydrogramme synthétique s'ajuste bien sur l'hydrogramme réel (ou plus exactement calculé d'après le bilan de la retenue) pour les phases de montée et de tarissement ; les deux plus fortes pointes de crue se retrouvent en débits et en dates Cet essai nous a permis de vérifier la valeur d'un outil et d'en ajuster les coefficients variables qui sont :

- le coefficient de ruissellement et sa variation dans le temps avec la saturation des terrains -

- le coefficient de modulation de la forme des hydrogrammes élémentaires issus des diverses zones du bassin.

Ainsi muni, nous pouvons aborder la phase majeure de notre démonstration : rec ercher dans la période 1908-1944 une crue comparable à celle de 1956, en ce qui concerne la saison et la répartition des phases pluvieuses, et reconstituer l'hydrogramme qu'auraient donné ces pluies en arrivant dans la retenue de BONETE. Notre choix s'est porté sur la crue du 5 Octobre 1918 provoquée par 3 phases pluvieuses de 4, 4 et 2 jours séparées par 5 et 4 jours d'accalmie. La similitude avec 1956 se poursuit dans la répartition spatiale des pluies (impact maximal sur le moyen TACUAREMBÓ) dont le total atteint 342 mm en moyenne pour 19 jours.

Le ruissellement de 10,6 milliards de m^3 fut de 79 % des apports pluviaux.

L'annexe n° 2 renferme les calculs ayant conduit à cette reconstitution dont les résultats sont très suggestifs :

a) réduction du temps de ruissellement de 45 à 32 jours -

b) avancement de la date du maximum du 5 Octobre au 28 Septembre -

c) aggravation du débit de pointe qui passe de 5480 m^3/s à 8000 m^3/s.

Les grands traits distinctifs des 2 familles de crues se retrouvent ici nettement. Nous mettons cependant en garde contre une croyance trop stricte envers le débit de 8000 m^3/s trouvé; il s'agit d'un ordre de grandeur, peut-être valable à 15 % près, et qui permet d'affirmer simplement que la présence du lac de BONETE peut accroître un débit de pointe d'au moins 25 %.

L'application de la méthode de l'hydrogramme synthétique nous apporte une explication du phénomène et en permet la vérification à rebours. L'explication, tout d'abord, provient

../.

de l'étude des temps de parcours. La méthode de LARRIEU exige le découpage d'un bassin en bandes isochroniques à partir de tous les points desquels la durée de parcours est la même pour les eaux ruisselant de cette bande jusqu'à l'exutoire. Nous avons fait un découpage journalier ; la première zone qui répond donc dans la journée couvre autour du lac une surface de 6700 km² (17% du bassin), de loin la plus grande. Ceci explique partiellement la rapidité de réponse aux pluies et la non-superposition des ondes élémentaires. Par contre, si l'on enlève le lac en pensée, on se voit dans l'obligation d'allonger le temps de parcours de 6 jours et de découper à peu près la première bande en 6 nouvelles bandes bien plus petites, ce qui justifie à priori les écarts observés entre les 2 hydrogrammes de Septembre 1918 (réel et synthétique).

La vérification à rebours, maintenant, se fait tout simplement en appliquant à la crue de 1918 la méthode de LARRIEU, avec des coefficients constants, mais en prenant le réseau isochronique "établi comme s'il n'y avait plus de barrage" (voir annexe n° 2); on retrouve la crue réelle de Septembre 1918 à peu de choses près.

Ces multiples démonstrations sont concluantes, confirment la dualité des familles de crues admises et nous permettent d'aborder la phase suivante de l'étude des crues exceptionnelles et plus spécialement de celle de 1959.

1.3 - LES CRUES EXCEPTIONNELLES ET CELLE D'AVRIL 1959 -

Nous avons entrevu le mécanisme de formation des fortes crues avec celles de Septembre 1956 et 1918. Nous constatons que toutes les crues de la période 1908-1944 qui ont dépassé 5000 m³/s obéissent au même mécanisme ; succession de 3 ou 4 phases pluvieuses, durant chacune 2 à 5 jours, s'échelonnant sur 3 semaines environ. Les impulsions de ruissellement élémentaire vont interférer et donner une crue d'autant plus élevée que les phases pluvieuses auront été plus voisines, qu'elles auront été composées d'épisodes très intenses (supérieurs à 100 mm en 24 heures) et que ceux-ci auront affecté l'aval du bassin par exemple lors de la 3ème phase quand survient au lac la plus forte part de l'impulsion originaire de la 2ème phase.

Ces successions à faibles intervalles d'averses moyennes à fortes, d'intensités souvent modérées mais qui couvrent de grandes superficies, sont le fait de dépressions thermiques du type de temps appelé "Sudestada prolongada" originaires du

../.

Nord de l'ARGENTINE et qui balayent l'URUGUAY du Nord-Ouest au Sud-Est. Une telle situation météorologique,selon les spécialistes argentins,se serait produite 4 fois par an en moyenne au cours de la dernière décennie; elle s'est manifestée 3 fois en moins de 4 semaines en Avril et Mai 1959.

L'analyse de ce dernier phénomène pluvieux montre qu'après une série de pluies fines du 2 au 5 avril dues à une incursion d'air froid méridional, survint, sur un terrain ainsi saturé, une dépression secondaire détachée de la zone tourbillonnaire encore centrée et stationnaire sur le Nord argentin; cette dépression, maximale le 8 Avril, causa une phase pluvieuse du 6 au 12 et fut suivie sans accalmie par une seconde phase du 13 au 17 au cours de laquelle la dépression principale travërsa l'URUGUAY suivant un trajet voisin et déversa les 14 et 15 des pluies exceptionnelles dépassant 100 mm sur plus de 20 000 km^2 et atteignant 270 mm le second jour au poste de TACUAREMBO Chico.

Il apparaît donc clairement que la crue d'Avril 1959 doit son caractère exceptionnel essentiellement à l'apparition successive de 2 phases pluvieuses sans accalmie couvrant 10 jours, du 6 au 16 avril, et secondairement à la violence des 2 dernières averses et au degré de saturation élevé des terrains. On peut donc penser qu'il s'agit d'un type de temps rare mais non exceptionnel dont l'intensité seule a dépassé des limites jusqu'alors inconnues. Nous verrons plus loin l'essai d'évaluation de la fréquence d'apparition de ce phénomène que nous avons tenté.

Que savons-nous de cette crue d'Avril 1959 ? Elle a fait l'objet de nombreuses études tant des ingénieurs de la U.T.E. que des ingénieurs étrangers consultés. Les données dont disposèrent les divers interprètes n'étaient pas complètes et manquaient de précision.

En ce qui concerne les relevés de précipitation, il y a quelques lacunes, les observateurs ayant dû s'acquitter de tâches plus urgentes à la suite des inondations catastrophiques. Beaucoup de pluviomètres n'ont pas été relevés ; d'autres ne le furent pas tous les jours, ainsi pour la période de pluie modérée du 10 au 13 Avril nous ne pouvons tabler avec sûreté que sur le total relevé et non sur son détail journalier.

Pour l'estimation des débits, la situation catastrophique qui fut celle de l'usine de BONETE oblige à de nombreuses interprétations : débit déversé sur la crête du barrage, débit évacué par la brèche ouverte en rive droite, débits

../.

empruntant divers talwegs secondaires .... Depuis 1959, un nouvel étalonnage du déversoir a été précisé sur modèle réduit à la Faculté d'Ingénieurs de MONTEVIDEO; une couverture aérophotogrammétrique du lac a conduit à réviser les courbes de volumes et de surfaces précédemment admises.

Il n'est donc pas surprenant que les divers analystes arrivent à des débits maximaux oscillant entre 15 400 et 18 100 m^3/s ;l'écart extrême ne dépasse pas 17 % ce qui n'est après tout pas excessif étant donné les nombreux facteurs d'imprécision évoqués. Même divergence pour les volumes écoulés entre 15,2 et 18,8 milliards de m^3 et les hauteurs moyennes de précipitations. Pour celles-ci,nous avons repris les données du Service Météorologique de l'URUGUAY qui nous ont conduit pour le bassin en amont de BONETE à :

- 470 mm du 6 au 16 Avril,
- 610 mm du ler au 30 Avril.

Il nous a paru superflu de tenter une nouvelle approche hydraulique de l'hydrogramme de crue, étant donné l'ampleur des impondérables. Par contre, nous avons estimé nécessaire et intéressant de reconstituer la crue d'Avril 1959 en partant des pluies, par le biais de la méthode de l'hydrogramme synthétique précédemment évoqué. Ce travail fait l'objet de l'annexe n° 3.

Nous nous sommes contentés de reconstituer l'onde principale due aux pluies du 6 au 16 Avril, négligeant les ondes adventices survenant en fin de décrue. Le résultat est assez satisfaisant : concordance des courbes de montée et de décrue de l'hydrogramme synthétique avec l'hydrogramme reconstitué par le Service Hydrologique de la U.T.E., débit maximal de 15 000 m^3/s. Une seule anomalie : nous obtenons le maximum le 16 et non le 20 Avril, il semble que cela soit dû à l'imprécision régnant sur la répartition des pluies entre les 10 et 13 Avril.

Nous pensons tout de même que cette reconstitution vient confirmer la véracité des estimations hydrauliques directes de ce phénomène d'Avril 1959.

Pour nous permettre de situer cette crue à sa place réelle dans un contexte homogène, nous avons poursuivi ici le raisonnement employé avec la pluie de Septembre 1918, pour estimer la crue qu'aurait donnéela précipitation du 6 au 16 Avril 1959 si elle s'était produite avant la construction de la retenue de BONETE. Ce travail, qui figure aussi dans l'annexe n° 3,a été entrepris de 2 façons :

../.

a) par la méthode de l'hydrogramme synthétique comme avec la crue de Septembre 1918,

b) par la composition des hydrogrammes unitaires du RIO NEGRO à PASO de los TOROS (1908-1944).

Nous avons trouvé respectivement 12 800 et 10 200 m^3/s comme valeurs du débit maximal; celui-ci survient le 23 et le 24 Avril. On retrouve là aussi les mêmes constatations quant à l'influence de la retenue de BONETE : accélération de la propagation de la crue; aggravation du débit maximal. Que l'on nous entende bien: il ne s'agit pas d'affirmer que la présence d'un lac le long du RIO NEGRO y aggrave la pointe de crue; non et, en effet, malgré les brèches et le débordement en crête, le barrage a bien joué son rôle d'amortisseur classique puisque la crue en aval s'est trouvée réduite considérablement en volume et que son maximum est tombé entre 8800 et 10 800 m^3/s suivant les interprétations. Mais ce que nous pensons, c'est qu'en amont de BONETE la crue est aggravée par le lac et que le débit maximal, par rapport aux conditions naturelles d'avant 1945, est accru de 25 % environ. En effet, des deux débits trouvés, celui de 12 800 m^3/s est certainement le plus près de la réalité, le second (10 200 m^3/s) est manifestement trop faible et cela tient intrinsèquement à la méthode de l'hydrogramme unitaire dont le type, qui sert à recomposer la crue, n'est qu'une moyenne laquelle estompe les irrégularités de tel ou tel hydrogramme unitaire réellement observé. Par exemple, le maximum moyen retenu est de 3800 m^3/s pour un volume ruisselé de 5 10^9 m^3, mais 3 hydrogrammes sur 9 avaient des maximums situés entre 4100 et 4250 m^3/s. Leur prise en considération aurait conduit à un débit proche de 12 000 m^3/s pour la crue d'Avril 1959 : car un phénomène exceptionnel ne peut être bien reconstitué qu'en repartant d'impulsions élémentaires elles aussi d'origine partiellement exceptionnelle.

Avec cette dernière démarche, nous arrivons au bout de l'histoire des crues du RIO NEGRO. Une histoire qui devient plus compréhensible maintenant que nous distinguons mieux nos 2 familles de crues et la distorsion à faire disparaître si nous voulons les homogénéiser et les comparer. Ainsi la famille des 83 crues supérieures à 1500 m^3/s apparues de 1908 à 1944 ne peut guère nous fixer que sur la fréquence décennale qui doit logiquement s'appliquer aux premières valeurs circoncises entre 5000 et 5500 m^3/s (environ 130 $l/s.km^2$ à BONETE). Dans cette famille, la crue de 1888 avec 8000 m^3/s

../.

(200 $l/s.km^2$) soit 1,5 fois plus que la valeur décennale, prendrait place comme un évènement de retour séculaire approximativement. Et notre crue d'Avril 1959, avec 12 800 m^3/s par exemple, ramenée aux conditions antérieures à la création de la retenue de BANETE (325 $l/s.km^2$), soit 1,5 fois plus que la crue de 1888, n'est plus démesurément incomparable bien que sa fréquence semble rester tout de même des plus faibles et de toutes façons plus faible que la fréquence centenaire. La disparité qui régnait entre cette crue et les phénomènes précédemment observés s'atténue et devient moins inimaginable. Si, à l'inverse, on garde les 15 000 à 17 000 m^3/s calculés et qu'on leur compare la crue de 1888 élevée à 10 000 m^3/s et les suivantes à près de 7000 m^3/s, en admettant que la famille soit homogénéisée dans l'hypothèse de l'existence du barrage, on peut refaire la même constatation.

Ceci dit, il n'en reste pas moins vrai que, même sur la famille de crues homogénéisée, dans un sens ou dans l'autre, l'emploi des méthodes statistiques classiques pour analysér cette famille et attribuer une fréquence à l'évènement de 1959, serait un procédé peu réaliste et certainement décevant.

Nous pensons qu'une divergence existe au sein de la famille, divergence due aux types de temps responsables des précipitations exceptionnelles. L'hypothèse ne peut être levée qu'en abordant le problème sous l'angle de la fréquence d'apparition des phénomènes pluvieux.

Mais, au préalable, il serait bon de regarder comment se situe dans le contexte international cette crue exceptionnelle d'Avril 1959 qui dans des conditions naturelles, aurait donné une crue d'environ 325 $l/s.km^2$ pour 40 000 km^2.

1.4 - ESSAI d'ESTIMATION DE LA FREQUENCE DE LA CRUE D'AVRIL 1959 -

On ne trouvera guère que dans les grandes plaines des ETATS-UNIS à la fois des grands bassins fluviaux soumis à des précipitations couvrant de longues périodes sur de vastes superficies, et des observations permettant une analyse correcte des phénomènes.

Du grand nombre de crues citées par les auteurs des USA, nous avons à titre comparatif extrait quelques phénomènes remarquables parmi les plus exceptionnels comme celui de Mars 1936 qui intéressa tout l'Est du pays (voir tableau joint).

../.

LISTE DE QUELQUES CRUES REMARQUABLES

DANS DES REGIONS COMPARABLES A L'URUGUAY

PAYS	FLEUVE	STATION	SUPERFICIE en Km^2	DEBIT de CRUE en m^3/s	DEBIT SPECIFIQUE EN $l/s.Km^2$	DATE
SUD-BRESIL	Jacui	Porto Alegre	82 000	25 000	331	Mai 1941
"	"	Cachoeira	30 460	13 300	435	" "
"	Taquari	Bom Retiro	24 900	12 000	480	" "
"	"	Mussum	16 080	8 390	520	" "
"	Iguazu		48 750	env.25 000	env.500	Juin 1936
ETATS-UNIS COTE ATLANTIQUE	Susquehanna	Harrisburg	62 400		338	Mars 1936
"	Potomac	Haucock	10 550		905	" "
"	"	Point of Rocks	25 000		545	" "
"	Ohio	Natrona	29 600		350	" "
"	"	Sewickbey	50 600		316	" "
"	Neosho	Choteau	30 200		370	Mai 1943
TEXAS	Little	Cameron	18 200		1 000	Sept.1921
OREGON	Willamette	Salem	18 900		753	Déc. 1961
URUGUAY	Rio Negro (sans barrage)	Bonete	39 700	12 800	325	Avr. 1959

On constate que les crues de l'OHIO de 1936 sont du même ordre de grandeur que celle du RIO NEGRO en Avril 1959, alors que celles du POTOMAC et de la SUSQUEHANNA dépasse de 50 % environ notre phénomène uruguayen.

Dans le même ordre d'idées, il semble aussi qu'au TEXAS les crues soient encore plus fantastiques, mais les conditions climatiques y sont plus rigoureuses que sur les bords de la PLATA.

Un autre phénomène mérite notre attention; il s'agit de la crue catastrophique de Mai 1941 dans le RIO GRANDE do SUL; les débits spécifiques maximaux enregistrés sur le JACUI et le TAQUARI sont supérieurs de 30 % à la crue de 1959 mais ces deux fleuves brésiliens ont des pentes très supérieures au RIO NEGRO si les terrains drainés sont assez comparables.

N'omettons pas, pour terminer, une crue de 1936 sur l'IGUAZU qui aurait donné quelque 500 l/s km^2 pour 48 750 km^2; faut-il voir dans le climat tropical et ses outrances une explication à cette prodigieuse crue Sud-Brésilienne, dans la mesure où les chiffres (invérifiables) sont corrects ?

Ainsi donc notre crue d'Avril 1959 fait bonne figure, si l'on peut dire, dans le peloton de tête, avec ses 325 l/s.km^2 Mais n'oublions pas qu'aujourd'hui avec la retenue de BONETE il s'agit de 375 à 450 l/s.km^2, fourchette qui s'inscrit peu en-dessous de la courbe enveloppe proposée par les auteurs des ETATS-UNIS pour les régions examinées, puisque cette courbe passe à 500 l/s.km^2 environ pour 40 000 km^2.

Il est temps maintenant d'aborder de front l'étude des précipitations en URUGUAY.

Les hydrologues de la UTE ont effectué l'étude des chutes de pluies en 24 heures par la méthode des stations-années pour atteindre la fréquence millénaire à laquelle correspond, selon eux, 320 mm. Cette intéressante étude n'est pas complètement satisfaisante à notre avis car ;

1°/- elle se heurte à la difficulté d'évaluer le coefficient de réduction correct à appliquer à ce maximum ponctuel pour obtenir la pluie moyenne sur 40 000 km^2.

2°/- elle se donne des limites (pluies ponctuelles en 24 heures) trop étroites et ne permet pas d'embrasser l'ensemble du phénomène pluvieux dans le temps et dans l'espace.

La remarquable homogénéité géomorphologique et climatique du Bassin du RIO NEGRO comme de la quasi-totalité du territoire

../.

de l'URUGUAY, nous a incité à choisir ici la méthode dite des "intensités-durées-surfaces", comme étant la plus adéquate. Cette méthode statistique demande beaucoup de données d'observations, et nous avons pu l'appliquer grâce à l'excellent réseau pluviométrique du pays, à sa relative ancienneté et à l'aimable coopération du Service Météorologique de l'URUGUAY. Cette étude est relatée en détail dans l'annexe n° 4. Disons simplement ici que nous avons choisi 56 stations pluviométriques également réparties dans tout le pays, chaque station se trouvant ainsi affectée d'une aire d'influence de 3300 km^2; un tel quadrillage s'est révélé suffisamment dense pour le type de précipitations auquel nous avions affaire. Pour tous ces pluviomètres, nous avons réuni les relevés de la période 1914-1960, soit 47 ans. L'allure des phases pluvieuses et la durée de ruissellement du bassin de BONETE nous ont conduit à étudier sur ce matériau les pluies de 10, 30 et 60 jours.

Des nombreuses conclusions que l'on peut extraire de cette étude, tant sur la répartition spatiale des précipitations que sur la fréquence d'apparition d'une hauteur de pluie donnée, retenons ici celles qui nous intéressent au premier chef. Tout au long de l'analyse, les phases pluvieuses d'Avril 1959 sont arrivées nettement au premier rang, à la fois pour les hauteurs précitées et pour les surfaces couvertes.

Cette analyse permet avec précision d'estimer les fréquences centenaires; par extrapolation nous avons obtenu un ordre de grandeur de ce que seraient, avec une récurrence de 1000 ans, les précipitations sur un bassin de superficie égale à celle du RIO NEGRO à BONETE.

Cette extrapolation suppose que les phénomènes pluviaux exceptionnels (fréquence inférieure à 0,01) sont du même type que les phénomènes plus courants, c'est-à-dire que l'extrapolation s'effectue en prolongeant la droite obtenue pour les fréquences de 1 à 0,01.

Cette hypothèse est optimiste et conduit à des valeurs un peu faibles pour l'épisode millénaire :

320 mm pour 10 jours,
540 mm pour 30 jours.

En effet, nous avons dans cette étude et dans celle des pluviométries annuelles (chapitre I) constaté la dualité des causes responsables des phénomènes fluviaux courants et exceptionnels.

Cette constatation a déjà été faite en d'autres régions du monde. En d'autres termes, la droite d'ajustement pourrait s'incurver pour des fréquences inférieures à 0,01. On se rapprocherait alors, pour la récurrence de 1000 ans, des valeurs observées en 1959.

Le choix entre l'extrapolation linéaire et l'extrapolation incurvée ne peut pas encore être tranchée de nos jours. C'est pourquoi notre conclusion sera simplement que le phénomène d'Avril 1959 est sûrement d'une fréquence plus rare que 1/100 mais que les bases statistiques de notre étude ne nous permettent pas de préciser davantage, sinon en disant que la récurrence vraisemblable est de l'ordre de 1000 ans.

Doit-on s'arrêter là et conclure que la crue de 1959 est de fréquence millénaire, par conséquent qu'il n'est pas raisonnable d'en concevoir une plus dangereuse ? Ce n'est pas notre avis.

1.5 - LA CRUE MAXIMALE A RINCON DEL BONETE -

On peut, en effet, admettre que si les précipitations d'Avril 1959 constituent un ensemble de fréquence très faible, la crue à laquelle elles ont donné naissance aurait pu être plus grave si les répartitions temporelle et spatiale de ces phases pluvieuses avaient été modifiées tout en restant dans les limites du concevable. Reprenons le résumé des épisodes pluvieux survenus entre le 6 et le 16 Avril 1959 : dix journées de pluies dues au passage d'une dépression thermique (13-17 Avril) précédée d'une dépression secondaire détachée de la précédente (6-12 Avril), ce qui entraîna 2 paroxysmes les 8 et 14-15 Avril. Ce phénomène, dans son ensemble, c'est-à-dire en ce qui concerne la hauteur de pluies tombée sur une surface donnée en 10 jours, est d'une fréquence proche de 1/1000°. En disséquant cet ensemble, on constate que les deux paroxysmes sont séparés par 6 jours de pluie modérée et que le second centré sur les régions amont du bassin donne un ruissellement retardé vis-à-vis du premier qui avait principalement affecté le centre et l'aval du bassin. Ces deux circonstances sont défavorables à une valeur maximale du ruissellement.

Aussi avons-nous fait deux hypothèses :

a) Le second épisode pluvieux survient 48 heures après le précédent, ce qui est concevable du point de vue aérologique.

b) Il est plus intense à l'aval du bassin alors que le premier aurait surtout frappé l'amont.

../.

L'annexe n° 5 présente le développement de ces hypothèses et les calculs des hydrogrammes synthétiques résultants. On obtient, bien entendu, des crues culminant plus vite que celle de 1959 et dont les débits maximaux sont de 18 700 pour l'hypothèse a) seule - et de 19 300 m^3/s pour les deux hypothèses a) et b). Nous appellerons désormais ces 2 schémas les variantes A et B de la crue maximale.

L'aggravation du débit maximal, par rapport à 15 000 m^3/s est, on le voit, assez notable.

Nous pourrions en rester là, mais il faut bien avouer que des phénomènes pluvieux comme celui d'Avril 1959 sont encore mal connus dans leurs structures et leurs origines. Comme nous le disions précédemment, ils n'obéissent peut-être pas aux mêmes lois que les autres phases pluvieuses, et la fréquence du phénomène d'Avril 1959 pourrait alors s'éloigner de 1/1000° et se rapprocher de 1/100°. Des aérologistes compétents pensent que le paroxysme de tels phénomènes peut dépendre de l'écart de température entre les masses d'air froid et chaud en contact. Cet écart fut de 13°C; ils estiment concevable un écart atteignant 20°C. En outre, ces dépressions thermiques du Nord Argentin se déplacent à une certaine vitesse inversement proportionnelle aux chutes d'eau qu'elles engendrent en un lieu donné; n'est-il pas concevable qu'une vitesse inférieure à celle qu'affecta la dépression d'Avril 1959 puisse intéresser des masses d'air comparables ?

Rapportée à 39 700 km^2, cette estimation vaut <u>580 l/s.km²</u>. En se rappelant que la présence de la retenue de BONETE peut aggraver un débit de pointe d'environ 20 à 25 %, on voit que le débit spécifique maximal en écoulement naturel aurait été compris entre <u>470 et 500 l/s.km²</u>, fourchette qui s'accorde assez bien avec les considérations issues de la comparaison des grandes crues mondiales évoquées précédemment.

Il nous semble donc raisonnable d'admettre un risque de majoration de 20 % <u>par rapport à l'épisode pluvieux exceptionnel</u> observé en 1959. Appliqué à la variante B, ce coefficient de majoration nous conduit à adopter la valeur de <u>23 000 m³/s</u> comme limite supérieure de la crue maximale du RIO NEGRO à RINCON del BONETE.

Mais à RINCON del BONETE, le problème de la crue est surtout une question de volume ruisselé. Afin de définir les modalités de son emmagasinement partiel, il est temps de parler de volumes.

../.

1.6 - LE MAXIMUM CONCEVABLE DES APPORTS A LA RETENUE DE BONETE -

Du 6 au 16 Avril 1959, il est tombé 470 mm de pluie sur le bassin, soit 18,65 milliards de m³. Le volume ruisselé a été évalué à $14,2.10^9$ m³, représentant 76 % de ces apports. Rappelons que cela correspond, d'après la reconstitution de l'hydrogramme, à des coefficients de ruissellement s'élevant de 30 % le 6 Avril à plus de 95 % pour les 2 derniers jours (14 et 15 Avril).

Avec les modifications conduisant à la variante B, on arrive à 15.10^9 m³ de ruissellement, soit 80 % des apports pluviaux.

La majoration terminale de 20 % nous amène à des apports de 18.10^9 m³, pour des variantes dites A' et B'.

L'écoulement de base partant d'un débit de 300 m³/s au jour "0" atteint 600 m³/s 20 jours après, ce qui représente un milliard de m³ supplémentaires pour la durée de la crue exceptionnelle.

Ce total de 19.10^9 m³ qui correspond à la crue elle-même est insuffisant pour l'étude de l'exploitation du réservoir car il faut considérer que cet apport sera éliminé graduellement en aval et que la durée de cette vidange de la retenue pourrait bien porter sur 2 mois. C'est donc le volume maximal d'apports en 60 jours qu'il faut considérer.

Du 25 Mars au 25 Mai 1959, le total des précipitations représente 855 mm répartis ainsi :

- 110 mm du 25/3 au 5/4
- 470 mm du 6/4 au 16/4
- 105 mm du 17/4 au 30/4
- 170 mm du 1er/5 au 25/5

Le phénomène du 6 au 16 Avril représente une intensité moyenne de 47 mm par jour, contre 11 mm par jour avant et 7 mm par jour après. Il n'est pas déraisonnable de concevoir qu'au cours de cette seconde période de près de 40 jours, se produise, après une accalmie de 10 à 15 jours faisant suite à la crue exceptionnelle, un autre épisode pluvieux intense mais d'un type relativement fréquent.

Ainsi les 170 mm de la dernière période, majorés de 20 %, pourraient être concentrés en une semaine. On aurait alors une crue classique, quasi unitaire, d'un type souvent observé pour laquelle le choix d'un coefficient de ruissellement de 60 % serait le plus vraisemblable; cela représenterait environ 5.10^9 m³ de volume ruisselé et un débit de pointe de 8000 m³/s (par analogie avec l'hydrogramme unitaire type dans la retenue de BONETE).

../.

Le débit de base pourrait avoir été maintenu par les pluies secondaires à 600 m^3/s et accru par ce deuxième épisode pluvieux à 800 m^3/s, débit qui se maintiendrait durant les derniers jours de la période de 2 mois envisagée, ce qui équivaudrait à un apport supplémentaire de 2.10^9 m^3.

Enfin entre ces deux épisodes pluvieux intenses, des pluies modérées (environ 100 mm) ruisselant à 30 % donneraient un apport del à 1,5 milliard de m^3.

Le bilan global de ces 60 jours atteint 27 à 27,5 milliards de m^3, chiffres sur lesquels nous nous arrêterons.

Avant de clore cette étude sur la crue maximale à RINCON del BONETE, nous sommes obligés d'envisager l'action de la retenue sur cette crue et la forme de l'onde déversante qui conditionnera au premier chef les crues exceptionnelles aux sites de BAYGORRIA et plus en aval.

Pour cela, nous devons faire quelques hypothèses quant aux modifications de structures que subira le barrage de BONETE, modifications qui dépendent autant des données hydrologiques que des facteurs économiques. Il y a trois problèmes :le niveau auquel sera surélevée la crête du barrage, l'importance des débits à déverser et les moyens pour y satisfaire, enfin la possibilité de choisir une nouvelle cote du plan d'eau normal dans la retenue.

La surélévation de la crête du barrage jusqu'à 87 m (nivellement ancien de BONETE) est chose acquise. La nécessité d'évacuer des débits supérieurs à 5500 m^3/s oblige à envisager la construction d'un déversoir additionnel latéral ayant même seuil que l'ouvrage actuel (76 m) et sensiblement même capacité. Pour des raisons de sécurité dans le bief aval et essentiellement pour sauvegarder le trafic sur le pont ferroviaire de PASO de los TOROS, on désire limiter les déversements à 7 500 m^3/s.

Enfin,le plan normal de la retenue, aujourd'hui de 80 m pourrait être augmenté (gains de puissance et d'énergie produite fort appréciables) dans la mesure où le volume d'amortissement des crues reste suffisant pour que le niveau du lac lors de la crue exceptionnelle ne dépasse pas 86,70 m (30 cm sous la crête).

../.

C'est avec ces conditions de travail que nous avons étudié l'amortissement dans le lac de BONETE de la crue exceptionnelle répondant aux deux schémas suivants :

1 - Variante A' de la crue maximale, (variante A x 1,20)

2 - Variante B' (variante B x 1,20)

Ces deux hydrogrammes sont suivis par une crue secondaire, apparaissant le 35° jour de la période de 60 jours ; des ruissellements adventices s'intercalent entre les deux paroxysmes.

Nous sommes arrivés aux conclusions ci-après, qui résultent de la lecture des graphiques n° 3.31 à 3.34 figurant en annexe 5.

1 - Avec la variante A', pour maintenir le plan d'eau à 86,70 m il faut déverser 7860 m^3/s pendant 9 jours si la retenue se trouvait à l'origine à la cote + 79,00 m et 8450 m^3/s pendant 8 jours si la retenue était initialement à +80,00 m. Dans les 2 cas pendant les 23 jours suivants, on continuera à déverser un débit compris entre 7000 m^3/s et 7500 m^3/s.

2 - Avec la variante B', il s'agit de 9 jours à 8350 m^3/s ou de 10 jours entre 9000 et 9500 m^3/s suivant que la retenue était à l'origine à 79,00 m ou à 80,00 m. Un déversement supérieur à 7000 m^3/s se poursuit dans les 2 cas durant 15 jours.

Si l'on envisage une cote initiale de +81,00 m de la retenue, on arrive à des déversements excessifs pour éviter le débordement en crête du barrage.

La crue adventice du 35 ° jour survient alors que la retenue est près de 82,00 m environ, son influence est faible, la remontée du plan d'eau est négligeable; les déversements doivent se poursuivre jusqu'au 50° jour pour que le niveau du lac redescende à 80,00 m et jusqu'au 55° jour pour atteindre 79,00 m.

Nous n'avons certes pas effectué une étude exhaustive du problème de l'amortissement et de la restitution de la crue maximale, mais nous ne pensons pas que des conclusions plus favorables puissent être obtenues et venir modifier les deux constatations principales que nous faisons :

../.

1) - Il faut essayer de maintenir le plan d'eau à 79,00 m dans la retenue de BONETE pendant les 6 mois d'hiver (Avril à Octobre) durant lesquels la chance de voir une crue supérieure à 1500 m3/s est de 85 % -

2) - Même dans cette hypothèse favorable, le déversement ne peut être contenu en dessous de 7500 m3/s et il faut admettre l'éventualité d'un débit en aval de BONETE égal à 7860 m3/s ou 8350 m3/s durant 9 jours, et le maintien du débit déversé au-dessus de 6000 m3/s pendant 35 à 36 jours.

Nous ajouterons pour terminer que ce programme de déversement nécessite, pour s'accomplir sans désastre, une organisation remarquable de rassemblement des données pluviométriques, de prévision de crues et de manoeuvres de vannes, de telle sorte que dès le 4ème jour de la première phase pluvieuse, sachant qu'il est tombé en moyenne 160 mm sur le bassin alimentant la retenue et que la pluie continue, on ouvre au plus vite et totalement les vannes des deux déversoirs .

Mais ce programme rigoureux ne permet cependant pas de satisfaire à la limitation du déversement en dessous de 7500 m3/s dans le cas des deux crues exceptionnelles choisies, pour lesquelles le risque est des plus réduits. Si l'on renonce à la couverture de 20 % supplémentaires, c'est-à-dire si l'on admet que les variantes A et B représentent la crue maximale, la sécurité est encore confortable et, dans ce cas, on constate avec satisfaction qu'il n'y a aucune difficulté à évacuer ces crues tout en ne dépassant jamais 7000 m3/s.

Avec beaucoup moins de rigueur dans l'exactitude d'application du programme de déversement, on peut maintenir le plan d'eau de la retenue en dessous de 86,50 m, avec des lâchures de 7000 m3/s pendant 15 à 18 jours, le débit déversé restant supérieur à 6000 m3/s pendant 25 à 30 jours.

Une telle conclusion est plus optimiste et plus rassurante que la précédente; elle pourrait suffire mais nous avons jugé utile de montrer les risques encourus en acceptant l'hypothèse de majoration de 20 % de la crue maximale, hypothèse de la plus grande sécurité.

Nous allons reparler plus longuement de cette crue issue de BONETE avec ses diverses variantes à l'occasion du problème de la crue maximale à prévoir pour le barrage de RINCON de BAYGORRIA que nous abordons maintenant.

../.

SECTION 2 - LES CRUES DU RIO NEGRO A RINCON DE BAYGORRIA -

De RINCON del BONETE à RINCON de BAYGORRIA, le bassin versant du RIO NEGRO passe de 39 700 à 43 620 km^2; l'accroissement de 3920 km^2 est le fait de 8 ruisseaux parmi lesquels l'ARROYO SALSIPUEDES draine à lui seul près de 1900 km^2 sur la rive droite du fleuve.

L'étude des crues exceptionnelles susceptibles d'affecter le RIO NEGRO en ce 2ème site de barrage peut se faire suivant ce plan :

a) Recherche de la crue maximale du bassin intermédiaire de 3920 km^2 -

b) Examen des risques de superposition de cette crue aux lâchures provenant de RINCON del BONETE -

et cela avec pour prémices une retenue de faible volume à BAYGORRIA : 570 millions de m^3 à la cote 54 m (cote normale) et 730 millions à 55,65 m limite extrême concevable, la crête étant à 56 m.

2.1 - LA CRUE MAXIMALE du BASSIN INTERMEDIAIRE -

Les observations hydrologiques sont de deux ordres :

- des relevés d'échelles sur l'ARROYO SALSIPUEDES au PASO de la LUCIANA qui donnent une idée de l'hydrogramme de ce torrent : pour une pluie de moins de 24 heures, montée en 18-24 heures et durée du ruissellement voisine de 4 jours -

- des relevés d'échelles et mesures de débits à BAYGORRIA durant la période (1956-1960) d'études et de construction du barrage.

Des crues originaires du seul bassin intermédiaire y furent observées : leurs formes rappellent celles de l'ARROYO SALSIPUEDES.

Dix-huit pluviomètres, lus quotidiennement, fournissent la répartition de la pluie sur le bassin; le pluviographe de BAYGORRIA permet de préciser la répartition temporelle.

A l'aide de ces données, l'ingénieur A. HAREAU de la UTE a étudié les relations pluies-débits, établi les hydrogrammes unitaires du bassin intermédiaire de 3920 km^2 et calculé, en partant des pluies et en leur appliquant les formules de SNYDER, les crues déjà observées.

../.

En conclusion de cette excellente étude sur laquelle il est inutile de revenir, l'auteur calcule la crue maximale du bassin en partant d'une pluie moyenne de 230 mm en 24 heures (dont 180 mm en 6 heures) correspondant à un orage local; lui attribuant un coefficient de ruissellement global de 88 %, il obtient un apport de 817.10^6 m^3 et un débit maximal d'environ 6000 m^3/s ou 1500 l/s.km^2.

S'agit-il bien là de la crue maximale du bassin intermédiaire ? Oui, si l'on se contente de l'hypothèse de départ selon laquelle la dite crue provient d'une averse exceptionnelle en 24 heures (orage local). Le choix de 230 mm est valable puisqu'il représente avec un coefficient d'abattement de 80 % la plus forte pluie observée en URUGUAY pour 1500 stations-années (292 mm selon la UTE), et avec un coefficient de 85 % les 270 mm enregistrés le 15 Avril 1959 à TACUAREMBO CHICO. De tels coefficients d'abattement sont corrects pour 4000 km^2.

Mais, nous l'avons vu lors de notre étude des pluies en URUGUAY et le paroxysme d'Avril 1959 en est un exemple frappant, les orages locaux isolés ne sont pas plus fréquents que les grandes phases pluvieuses au sein desquelles quelques averses peuvent atteindre une violence égale à celle des dits orages.

Ainsi, les 8, 14 et 15 Avril se produisirent des précipitations qui culminèrent chacune à plus de 220 mm et dépassèrent 150 mm sur 4000 km^2 dans la région entre TACUAREMBO et RIVERA.

En outre, la durée du ruissellement unitaire du bassin intermédiaire, estimée à 4 jours, ne met donc pas celui-ci à l'abri des pluies de 48 heures et même de 72 heures.

Nous sommes ainsi amenés à envisager la possibilité, pour ce bassin intermédiaire, de recevoir la partie la plus intense du phénomène survenu les 14 et 15 Avril 1959. Pour 4000 km^2, nous avons respectivement 180 et 170 mm de pluie moyenne auxquels s'appliqueront les coefficients de ruissellement de 95 et 98 % retenus pour la composition de l'hydrogramme synthétique à BONETE à partir des mêmes pluies, chiffres qui, bien entendu, sont supérieurs à ceux d'un orage local. Le volume ruisselé atteint 1325 millions de m^3. En utilisant l'hydrogramme unitaire de l'ingénieur A. HAREAU, on peut combiner les crues résultant de ces 2 pluies en admettant que les périodes intenses étaient distantes soit de 24 heures soit de 36 heures. On obtient des débits maximaux de 8000 et 6500 m^3/s. La gamme de variation proposée va donc de 1600 à 2000 l/s.km^2.

../.

Nous aurions pu appliquer ici aussi le coefficient de majoration de 20 %, mais cela aurait été une précaution excessive.

Dans le tableau suivant, nous donnons pour les deux aspects de la crue maximale les débits moyens journaliers et les volumes correspondants à évacuer :

		1er jour	2° jour	3° jour	4° jour	5° jour
Crue composée avec 24 h. de décalage	Qm^3/s	2 600	6 750	5 800	175	
	$V.10^6\ m^3$	225	585	500	15	
Crue composée avec 36 h. de décalage.	Qm^3/s	2 500	4 500	5 800	2 500	60
	$V.10^6\ m^3$	215	390	500	215	5

Le maximum instantané le plus sévère est celui du premier cas. Il atteint, en effet, 8000 m^3/s pendant le deuxième jour qui voit s'écouler cette pointe. La moyenne journalière est de 6750 m^3/s.

Dans les calculs qui vont suivre, il n'est pas possible de se baser sur ce maximum instantané, pour plusieurs raisons dont la principale est la suivante : cette pointe dure très peu de temps et il est absolument impossible d'en tenir compte dans le programme de manoeuvres des vannes aux barrages de BONETE et de BAYGORRIA. Il n'est possible de prendre en compte, dans les calculs, que le débit moyen journalier le plus élevé : 6750 m^3/s mais, dans ces conditions, il est indispensable que l'amortissement du sommet de la pointe entre 6750 m^3/s et 8000 m^3/s soit effectué par le réservoir de BAYGORRIA. Le volume correspondant est très voisin de 50 millions de m^3 : cela veut dire que, pour garder cette réserve dans la retenue de BAYGORRIA, il ne faut jamais dépasser la cote 55, si la cote maximale concevable y est de 56,50 m.

../.

2.2 - RISQUES DE CONCORDANCE DE LA CRUE DU BASSIN INTERMEDIAIRE AVEC LES LACHURES DE BONETE -

Dans ce paragraphe, il est admis que le bassin intermédiaire est équipé en pluviographes à transmission instantanée des chutes de pluie et que le Service de Prévision des crues à BAYGORRIA comme à BONETE fonctionne très bien.

Constatons tout de suite que la coïncidence d'une crue exceptionnelle à la fois sur le RIO NEGRO en amont de BONETE et sur le bassin intermédiaire de BAYGORRIA est tout à fait vraisemblable géographiquement. Le second bassin est,en effet,contigu au premier sur la plus grande longueur (120 km environ) du Nord au Sud alors que sa largeur d'Ouest en Est atteint rarement 40 km.

Tout épisode pluvieux à grande extension spatiale peut intéresser les deux bassins, comme ce fut le cas en 1959. Rappelons ici que le SALSIPUEDES eut deux crues nullement exceptionnelles qui se produisirent avant l'arrivée de l'onde maximale de BONETE ; malgré l'absence de concordance complète,le débit de BAYGORRIA atteignit 11 500 m^3/s (estimation) parce que évidemment,on ne disposait pas alors à BONETE de la maîtrise des eaux que fournira l'élévation du barrage.

Le déversoir actuel de BAYGORRIA peut évacuer 10 000 m^3/s à 55 m ; par conséquent les risques de concordance des crues existent si BONETE lâche 3250 m^3/s au moins le jour où survient l'onde maximale de 6750 m^3/s à BAYGORRIA. Tout autre jour, le niveau de BAYGORRIA peut être monté à 55,50 m pour déverser 10 500 m^3/s, la pointe du bassin intermédiaire étant passée.

Pour que le risque soit patent, il faut en outre qu'à BONETE on se trouve dans l'obligation de laisser passer au moins 3250 m^3/s, ce qui signifie que le bassin amont vient de subir une forte crue et que l'on est obligé de déverser pour éviter le débordement de la retenue.

En précisant davantage, on peut circonscrire la période pendant laquelle cette réduction du débit déversé n'est pas possible. Si l'on reprend les schémas des variantes A' et B' de la crue maximale à BONETE, on y observe un long palier de déversement à 7500 m^3/s. Durant ce palier,la réduction du débit déversé à 3250 m^3/s deux jours de suite (car il est difficile de situer exactement le jour du maximum de crue dans le bassin intermédiaire)

../.

entraînerait une accumulation de 650 millions de m^3, laquelle est possible si le niveau du plan d'eau dans la retenue est inférieur à 86,10 m. La période critique se réduit donc de quelques jours pendant lesquels la retenue est au-dessus de 86,10 m et pendant la phase de montée de la crue exceptionnelle de BONETE, car alors on ouvre les vannes du déversoir sans connaître encore l'ampleur exacte de la crue. Et c'est précisément durant cette période critique que, mise à part l'hypothèse des orages locaux, le risque de coïncidence du même épisode pluvieux sur les deux bassins est le plus grand. En Avril 1959, en effet, les crues du SALSIPUEDES eurent lieu les 8-9 Avril et les 14-15 Avril lors des pluies intenses. Il en serait de même si nous prenions l'un quelconque des schémas de crue à BONETE (variante A, B, A', et B'). C'est ce que nous allons faire en détail.

- <u>Variante A à BONETE</u> :

On peut, sans risque de surélévation exagérée du plan d'eau à BONETE, emmagasiner 650 millions de m^3 en 48 heures pour que la crue à BAYGORRIA reste inférieure à 10 000 m3/s. La marge de sécurité est suffisante pour qu'il soit inutile d'augmenter les déversements au-delà de 7000 m^3/s afin de compenser l'accroissement du volume emmagasiné, et cela à n'importe quel moment de la crue à BONETE.

- <u>Variante B</u> :

Le débit maximal à BAYGORRIA peut être maintenu en dessous de 10 000 m^3/s en procédant au même emmagasinement. Si cette opération s'effectue pendant la montée de la crue à BONETE, il faudra durant 48 à 72 heures faire passer le débit déversé de 7000 à 7500 m^3/s pour compenser et rester à un niveau inférieur à 86,70 m.

- <u>Variante A'</u> :

Les choses deviennent plus délicates et il faut entrer dans le détail de la coïncidence des phases pluvieuses. Si la crue exceptionnelle du bassin intermédiaire survient lors de la première phase (analogue aux pluies du 6 au 9 Avril 1959), la retenue de BONETE est encore fermée, il n'y a donc pas de problème. Si la coïncidence a lieu lors de la deuxième phase, les déversements de BONETE sont commencés, la crue monte dans la retenue. La limitation du débit maximal à BAYGORRIA en dessous de 10 000 m^3/s pendant 48 heures oblige à emmagasiner 320 millions de m^3 qui devront être évacués dans les 7 jours suivants précédant l'apogée de la montée dans le lac. Pour ce faire, le débit déversé devra être élevé de 7860 à 8800 m^3/s.

../.

Il serait opportun de dire que cette coïncidence lors de la deuxième phase est fort improbable, car les zones de pluie intense intéressent la région au Nord de TACUAREMBO, ce qui exclut pratiquement la possibilité d'un second foyer intense entre BONETE et BAYGORRIA.

- Variante B' :

Il n'en n'est plus de même avec cette variante qui admet justement le déplacement des impacts de la deuxième phase vers l'aval du bassin de BONETE. La coïncidence est donc très concevable. Si la deuxième phase pluvieuse atteint son maximum sur l'aval de BONETE (pluies des 14-15 Avril centrées à l'aval et majorées de 20 %), le bassin intermédiaire n'est pas justiciable de la majoration de 20 % car il faut admettre une certaine réduction des chutes de pluie avec la superficie couverte.

C'est dans l'hypothèse de cette coïncidence avec la variante B' que la crue à BAYGORRIA fut calculée sans majoration de 20 %.

La violence et la rapidité de la crue selon le schéma B' rendent très difficile le contrôle de la crue à BONETE. On est obligé d'emmagasiner 560 millions de m^3 en 2 jours, alors que BONETE déverse déjà beaucoup et de les évacuer dans les 6 jours suivants, ce qui contraint à élever le débit de ce déversement de 8350 à 9800 m^3/s.

Et nous n'avons envisagé que les cas où les crues A' et B' surviennent dans une retenue à la cote 79 m car, avec la cote initiale à 80 m, on arriverait à des débits déversés excessivement dangereux.

A ce stade du raisonnement apparaissent plusieurs choix que la UTE devra effectuer :

1) Si l'on admet que seules les variantes A et B de la crue maximale sont concevables pour BONETE, il n'y a pas de difficultés pour limiter à 10 000 m^3/s les déversements à BAYGORRIA, le Service des Prévisions de crue fonctionnant bien.

2) Si l'on admet possibles les crues maximales ayant l'aspect des variantes A' et B' il faut renoncer à conserver un plan d'eau à 80 m en hiver dans la retenue de BONETE, les conséquences économiques pour l'aval seraient prohibitives .

../.

3) Mais même avec un plan d'eau à 79 m, les crues A' et B' obligent à un second choix quant aux programmes de manoeuvres des vannes de BONETE. Ou bien l'on s'applique à contenir la crue à BAYGORRIA en dessous de 10 000 m^3/s, mais alors on accroît les dégâts causés à PASO de los TOROS en augmentant les lâchures de 1000 m^3/s ou de 1500 m^3/s pendant 6 ou 7 jours. Ou bien on limite les dégâts aux débits évacués normalement (7800 ou 8350 m^3/s), car ces dégâts ne peuvent être nuls avec les crues A' et B', mais alors BAYGORRIA verra un flot de crue de 11 000 à 13 000 m^3/s.

Et cela nécessite la construction en ce deuxième site d'un déversoir additionnel de 3000 m^3/s; le dispositif de protection actuel, qui consiste en une digue minée, répond économiquement à cette nécessité.

Le choix entre les deux solutions ne peut résulter que de considérations d'ordre économique après calcul du coût du dit déversoir additionnel par rapport à celui de l'accroissement des dégâts. Il dépend bien entendu aussi du degré de sécurité adopté qui conduit à admettre les variantes A et B ou les variantes A' et B'.

Il dépend enfin des considérations relatives au dimensionnement des ouvrages évacuateurs de l'aménagement projeté dans le bief PASO del PUERTO-PALMAR.

Concluons en rappelant que la crue exceptionnelle en aval de BAYGORRIA peut revêtir les 6 variantes suivantes, dont les déterminations résultent d'une composition des crues du bassin intermédiaire (hypothèse des 2 pluies à 24 heures, retenue) et des lâchures de BONETE réalisées au mieux, en admettant la concordance de temps la plus vraisemblable d'après les phases pluvieuses choisies :

a) Variantes A et B avec débits maximaux inférieurs à 10 500 m^3/s à savoir 8000 et 10 300 m^3/s respectivement; ces variantes représentent la crue exceptionnelle de fréquence proche de 1/1000° (graphiques n° 3.35 et 3.36) -

b) Variantes A'_1 et B'_1 résultant d'une majoration de 20 % des variantes A et B, donc pratiquement des crues "plafond". Le débit maximal à BAYGORRIA est limité à 10 000 m^3/s maximum, mais en contrepartie le palier de déversement de BONETE s'élève à 8800 et 9800 m^3/s respectivement (graphiques N° 3.37 et 3.38) -

c) Variantes A'_2 et B'_2 avec des débits maximaux de 12 400 et 13 500 m^3/s assurent la protection maximale de PASO de los TOROS mais nécessitent une évacuation supplémentaire à BAYGORRIA; ces crues sont aussi du type "plafond" apportant une protection quasi totale (graphiques n° 3.39 et 3.40).

../.

SECTION 3 - LES CRUES DU RIO NEGRO DANS LE BIEF PASO del PUERTO-PALMAR -

Quel que soit l'emplacement choisi pour le barrage projeté dans le bief PASO del PUERTO-PALMAR, les crues y seront les mêmes, aucun affluent important ne venant modifier le régime du fleuve. Par rapport à la station de PASO del PALMAR (km 164) prise comme référence, la superficie drainée par le RIO NEGRO dans le bief ne s'écarte pas de plus de 1 % de ses 62 560 km^2.

Le problème dans ce bief est le suivant :

- Quelle crue maximale peut naître du bassin versant entre BAYGORRIA et PALMAR ?

- et comment se composera-t-elle avec l'onde lâchée à BAYGORRIA ?

De ce bassin versant partiel dont la superficie est de 18 935 km^2, le YI représente à lui seul plus de 70 %, l'ARROYO GRANDE del SUR quelque 17 % et les affluents secondaires du RIO NEGRO environ 10 %.

Que savons-nous des crues de ce bassin ?

3.1 - LES DONNEES D'OBSERVATIONS -

En dehors de PASO de los TOROS et de PALMAR, les relevés (peu sûrs) de la station de DURAZNO nous sont d'un faible secours car, représentant 8911 km^2 seulement, ils nous laissent avec une surface à peu près équivalente sans renseignements. DURAZNO reflète donc assez mal la genèse des crues du bassin partiel.

Une brève analyse comparative des hauteurs d'eau du YI à DURAZNO et des débits du RIO NEGRO à PASO de los TOROS et PALMAR nous permet les quelques remarques suivantes :

- Dans près de 90 % des cas, il y a crue à la fois à PASO de los TOROS et à DURAZNO.

- Le maximum de la crue survient généralement à DURAZNO 4 à 8 jours avant celui de PASO de los TOROS, mais il a parfois lieu le même jour.

../.

- Les crues à PALMAR sont beaucoup plus nombreuses qu'aux deux stations amont prises séparément ; dans leur majorité, elles proviennent à la fois des bassins amont des Rios YI et NEGRO; une minorité non négligeable n'est due qu'au YI et au RIO NEGRO en aval de PASO de los TOROS; enfin, quelques crues courtes et pointues ne sont originaires que des parties des bassins en aval de PASO de los TOROS et de DURAZNO.

- Le décalage de temps des maximums n'est que de 1 à 2 jours entre DURAZNO et PALMAR; il peut atteindre 4 jours avec PASO de los TOROS.

- Il est très intéressant de remarquer qu'un classement décroissant des crues aux 3 stations montre une divergence notable des hauts-bassins du YI et du RIO NEGRO; à une forte crue à DURAZNO correspond une onde mineure à PASO de los TOROS et vice- versa . Mais par contre, les plus fortes crues à DURAZNO sont aussi celles de PALMAR, et c'est ce point qui nous intéresse le plus.

Avril 1959 fait évidemment exception puisque, ~~aux trois~~ sites, le phénomène fut le plus grand depuis le début des observations.

En fait, on verra plus loin que la crue du YI en Avril 1959 ne fut pas aussi exceptionnelle que celle du haut RIO NEGRO.

Ajoutons pour terminer que le régime des crues du YI est comparable à celui du RIO NEGRO : 85 % des pointes notables ont lieu entre Avril et Octobre.

Quelle est l'importance des débits de crue transitant dans le bief PASO del PUERTO-PALMAR ?

Sur les 36 ans de relevés (dotés de lacunes) à la station de PALMAR entre 1904 et 1944, associés aux 10 années d'observations à PASO del PUERTO de 1952 à 1961, on voit les deux pointes de 1959 se détacher du lot : 10 900 m^3/s le 18 Avril et 11 300 m^3/s le 28 du même mois. Viennent ensuite deux crues supérieures à 7500 m^3/s en Juillet 1919 et Décembre 1940 puis environ 5 autres crues oscillant entre 7000 et 7500 m^3/s. Il est certain que sans l'amortissement dû au barrage de BONETE et le décalage des pointes du YI et du RIO NEGRO, l'écart entre le cataclysme de 1959 et les crues suivantes aurait été bien plus grand; les débits observés ne représentent guère en effet que 180 $l/s.km^2$ pour 1959 et 120 $l/s.km^2$ pour la crue classée 3ème.

../.

Avant d'aborder la recherche de la crue maximale du bassin partiel, nous allons préciser l'importance du phénomène d'Avril 1959.

3.2 - LA CRUE D'AVRIL 1959 -

Grâce aux jaugeages effectués au maximum de la crue à PASO del PUERTO, cette station est la seule pour laquelle les débits exceptionnels d'Avril 1959 soient bien connus. Les lâchures de BONETE, aux imperfections des calculs hydrauliques près, ne sont pas trop mal connus; il est plus délicat d'évaluer avec précision l'apport du bassin de BAYGORRIA et l'aspect de l'onde de crue en aval de ce lieu. Nous avons quand même fait ces estimations et, en adoptant un décalage de 48 heures, soustrait l'hydrogramme de BAYGORRIA de celui de PASO del PUERTO. On obtient ainsi une valeur approchée de la crue du bassin partiel (YI et affluents secondaires) : 4,8 milliards de m^3, maximums les 13 et 15 Avril d'environ 6 à 6500 m^3/s. Cette crue est donc responsable pour 55 à 66 % du maximum du 18 Avril à PASO del PUERTO, l'ARROYO SALSIPUEDES comblant la quasi-totalité du déficit.

Quant à la pointe du 28 Avril à PASO del PUERTO, elle est due aux lâchures de BONETE, la part du bassin partiel n'ayant pas dû excéder 2000 m^3/s soit 18 %.

Le débit maximal du bassin partiel pour cette crue n'est que de 320 l/s.km^2, valeur importante mais non exorbitante. On comprend la relative modicité de cette crue en étudiant la pluviométrie de la décade du 6 au 16 Avril : superficie négligeable recevant plus de 400 mm; hauteur moyenne 315 mm. L'étude "intensité-durée-surface" nous apprend qu'un tel total en 10 jours sur un bassin de 19 000 km^2 peut se voir attribuer une fréquence de 1/200ème. Si l'on se souvient que l'étude faite pour BONETE concluait à la possibilité d'avoir des crues plus graves qu'en 1959 avec le même total décadaire de pluies (variantes A et B), on peut penser que la crue de 1959 pour le bassin partiel et donc pour le YI est un phénomène d'ordre centenaire.

Nous avons essayé, pour le bassin partiel, de recomposer l'hydrogramme de la crue d'Avril 1959 par la méthode synthétique employée pour le RIO NEGRO à BONETE. Malheureusement, le réseau pluviométrique de ce bassin est peu dense et les relevés journaliers dont nous avons disposé étaient peu nombreux . Malgré une relative imprécision dans l'estimation des pluies journalières affectant telle ou telle bande isochronique, nous avons poursuivi le calcul. L'hydrogramme synthétique obtenu est un peu différent de celui, peut être pas plus vrai d'ailleurs, conçu par soustraction; seuls les

../.

maximums s'accordent. On trouve ici 5900 à 6300 m^3/s les 14 et 15 Avril. C'est au fond le principal puisque pour le barrage de PALMAR, dont la retenue n'aura pas un volume considérable, le débit maximal de la crue compte beaucoup plus qu'à BONETE.

Notons cependant que le volume ruisselé représente 80 % des pluies, ce qui est plus important que pour le RIO NEGRO à PASO de los TOROS mais se justifie par l'imperméabilité plus accentuée du bassin granitique et par l'absence de zones marécageuses (ou banados) le long du YI.

3.3 - LA CRUE MAXIMALE DU BASSIN PARTIEL -

Nous continuons à traiter ce bassin comme une entité hydrologique de 18 935 km^2 drainés par le YI et le RIO NEGRO jusqu'à PALMAR.

Une première méthode consiste à examiner les répercussions sur ce bassin partiel des modifications aggravantes des répartitions spatiale et temporelle des pluies d'Avril 1959 déjà envisagées pour apprécier la crue maximale à BONETE. Il s'agit des hypothèses A et B conduisant aux variantes A et B de la crue maximale, lesquelles deviennent A' et B' après majoration du coefficient de sécurité de 20 %.

L'aggravation relative de l'hypothèse B par rapport à l'hypothèse A est plus grande qu'à BONETE, car alors on centre sur le lac de BONETE le paroxysme principal des 14 et 15 Avril; le bassin du Yi contigu à la retenue va, de ce fait, bénéficier de pluies supérieures à 100 mm pendant 2 jours, ce qu'il n'avait pas eu ni en 1959 ni avec l'hypothèse A.

Les calculs des hydrogrammes synthétiques figurent dans l'annexe n° 6. En voici les résultats :

	Variante A	Variante A'	Variante B	Variante B'
Débit maximal	6300	7500	8400	10 300 m^3/s
" "	env. 330	400	445	550 $l/s.km^2$
Volume ruisselé	4,8	5,8	5,2	6,3 milliards de
Coefficient de ruissellement	80	82	86	88 %

Ces crues sont celles que l'on calcule pour le bassin partiel dans le cas où se produisent les crues maximales concevables A' ou B' sur le RIO NEGRO à BONETE. Représentent-elles le paroxysme du bassin partiel ? Certes non. Une phase pluvieuse de 10 jours totalisant 315 mm, ou 375 mm avec 20 % de majoration, est loin d'atteindre les limites probables pour 19 000 km^2.

../.

Ces limites, nous les avons recherchées en supposant :

a) Que le bassin partiel aurait pu bénéficier d'une chute d'eau moyenne égale à 1,2 fois celle que reçurent du 6 au 16 Avril 1959 les 19 000 km^2 les mieux arrosés du bassin de BONETE.

b) Que le bassin partiel aurait pu recevoir en Avril 1959 le centre des précipitations de tout l'URUGUAY; ce qui s'obtient en décalant le réseau d'isohyètes. On a trouvé dans les deux cas une valeur moyenne voisine de 660 mm pour la répartition desquels on a considéré deux hypothèses :

- l'hypothèse C dans laquelle les pluies journalières sont celles qui affectèrent la zone la plus arrosée du 6 au 16 Avril en URUGUAY,

- l'hypothèse D dans laquelle les 2 dépressions responsables des pluies sont rapprochées à 48 heures (comme dans l'hypothèse A pour BONETE).

Notons qu'une modification de la répartition spatiale des averses (type variante B) n'aurait qu'une influence négligeable pour le bassin partiel.

L'annexe n° 6 rassemble les éléments des hydrogrammes synthétiques calculés à partir de ces pluies. En voici les conclusions :

	Variante C	Variante D
Débit maximal	13 350	15 900 m^3/s
" "	700	840 $l/s.km^2$
Volume ruisselé	10,7	10,7 milliards de m^3
Coefficient de ruissellement	86	88 %

Une crue maximale de 840 $l/s.km^2$ pour 18 935 km^2 s'accorde bien avec la valeur trouvée pour RINCON del BONETE et occupe, dans le contexte international, une position comparable.

Il importe maintenant de savoir comment vont se composer ces crues exceptionnelles du bassin partiel et les lâchures du barrage de BAYGORRIA.

../.

3.4 - LA CRUE MAXIMALE DANS LE BIEF PASO DEL PUERTO-PALMAR -

Nous nous sommes livrés à une analyse fine de la composition des crues de BAYGORRIA et des crues originaires du bassin partiel en tenant compte des diverses variantes possibles; il nous est apparu que les maximums de ces crues pouvaient, dans presque la moitié des cas, ne pas coïncider exactement et qu'un décalage de 24 et même 48 heures était vraisemblable. Mais il faut bien avouer que cette composition est délicate car on apprécie mal la propagation de l'onde de crue dans une succession de retenues et, en outre, la moindre erreur de prévision pour établir le programme de manoeuvres des déversoirs à BONETE et à BAYGORRIA peut entraîner un décalage de l'onde en provenance de ces retenues. La prudence et la logique conseillent donc d'admettre la vraisemblance de coïncidence des maximums lors des crues exceptionnelles.

Nous avons deux grandes familles de crues exceptionnelles celles causées par des phases pluvieuses centrées sur le Haut RIO NEGRO et celles résultant d'épisodes pluvieux plus importants sur le RIO YI.

Dans le premier cas, on retrouve les variantes A, B et A', B' des crues maximales à BONETE et à BAYGORRIA. La composition avec les crues du bassin partiel, pour lesquelles nous avons estimé les pointes correspondant aux mêmes variantes, s'effectue suivant 6 schémas : ceux des variantes A et B d'une part et d'autre part, ceux des variantes A' et B', ces derniers avec option du maintien d'un déversement limité à 10 500 m^3/s à BAYGORRIA ou adjonction d'un déversoir de 3 000 m^3/s.

Le tableau suivant présente toutes les conclusions en ce qui concerne les débits maximaux susceptibles d'affecter le bief PASO del PUERTO-PALMAR, dans ce premier cas.

DEBITS MAXIMAUX en m^3/s à	VARIANTES					
	A	B	A'_1	A'_2	B'_1	B'_2
BAYGORRIA	8 000	10 300	10 000	12 400	10 000	13 500
BASSIN PARTIEL	6 300	8 400	7 500	7 500	10 300	10 300
PASO DEL PUERTO-PALMAR (1)	13 400	18 600	16 500	19 100	20 300	23 800
PASO DEL PUERTO-PALMAR (2)	14 300	18 600	17 500	19 800	20 300	23 800

(1) Composition la plus vraisemblable des ondes de crue -
(2) Addition des maximums de crues de BAYGORRIA et du bassin partiel

../.

Pour la seconde famille de crues exceptionnelles, nous savons que le bassin partiel peut donner 13 350 ou 15 900 m³/s selon que l'on choisit les variantes C ou D. Mais que se passe-t-il alors en amont de BAYGORRIA ?

Le paroxysme de l'épisode pluvieux exceptionnel ayant affecté le bassin du YI, celui du RIO NEGRO à BONETE n'a pas dû recevoir une très forte quantité d'eau. On peut admettre que pour la totalité du bassin de PALMAR, soit 62 560 km², la hauteur d'eau moyenne en 10 jours est restée égale à celle de 1959 multipliée par 1,20. On avait 420 mm du 6 au 16 Avril 1959; cela fait 505 mm maintenant. Le bassin partiel ayant reçu 660 mm celui de BONETE n'a bénéficié que de 445 mm. Cette hauteur n'est inférieure que de 5 % à celle de 1959, mais il est bien certain que les centres des averses se trouvant sur le bassin du YI, celui de BONETE n'a pas dû être affecté par des pluies journalières supérieures à 100 mm. Il est donc raisonnable d'admettre que la crue résultante serait inférieure à celle d'Avril 1959, par exemple de 10 %. Ainsi se conjuguerait une crue égale à 90 % de celle d'Avril 1959 à BONETE avec la crue variante C du bassin partiel. En face de la variante D de cette crue, on doit trouver une crue égale à 90 % de la variante A du bassin de BONETE.

Reste le problème du bassin intermédiaire de BAYGORRIA, dont le rôle est très important, car on ne peut pas laminer sa crue qui s'ajoute donc sans réduction à celle du bassin inférieur partiel. Les hypothèses admises quant à la répartition des phases pluvieuses poussent à prendre pour BAYGORRIA les mêmes conclusions que pour BONETE : crue maximale réduite de 10 %. Cela représente, pour les deux journées les plus cruciales, des débits moyens de 6100 à 5200 m³/s si la crue exceptionnelle de BAYGORRIA est due à deux pluies distantes de 24 heures ou des débits de 4050 à 5200 m³/s si l'intervalle est de 36 heures. Si l'on ajoute mentalement ces débits aux valeurs extrêmes des crues C et D du bassin partiel, on constate que cette famille de crues centrée sur le YI s'annonce plus dangereuse que celles qui proviennent de BONETE.

Dans ce cas, le Service de Prévisions doit jouer à plein en limitant le plus possible les déversements de BONETE pendant les 4 jours de la crue du bassin intermédiaire de BAYGORRIA. Mais pour prendre de tels risques dans l'emmagasinement à BONETE, il faut deviner que la crue du haut-bassin ne sera pas catastrophique et que celle du YI, par contre, le sera. Un poste d'annonces de crues doit être installé à DURAZNO, un autre au barrage du bief PASO del PUERTO-PALMAR; ainsi pourrait être résolue au mieux la prévision des crues, donc le programme des déversements.

../.

Dans le cas de la variante C associée à la crue de 1959 x 0,9 à BONETE, on peut sans dommage laisser fermer ce barrage pendant les 4 jours de la crue de BAYGORRIA. Ainsi les débits maximaux susceptibles d'affecter le site aval, en admettant la superposition exacte des pointes de crue du bassin partiel et du bassin de BAYGORRIA, seraient compris entre 17 400 et 19 800 m^3/s.

Dans l'hypothèse de la variante D, la crue en amont de BONETE ne permet que le programme de déversement suivant pendant les 4 jours de crue à BAYGORRIA : 2000 -0 -0 - 2000 m^3/s.

L'impossibilité de laisser fermer le déversoir de BONETE pendant 4 jours aggrave le débit maximal à PALMAR, la crue D étant elle-même plus forte que la crue C.

Le tableau suivant rassemble les conclusions en ce qui concerne les débits maximaux susceptibles d'affecter le bief PASO del PUERTO-PALMAR dans le deuxième cas :

DEBITS MAXIMAUX en m^3/s à	VARIANTES	
	C	D
BAYGORRIA	7 000	7 000
BASSIN PARTIEL	13 350	15 900
PASO DEL PUERTO-PALMAR (1)	19 800	22 200
PASO DEL PUERTO-PALMAR (2)	20 350	22 900

(1) Composition la plus vraisemblable.
(2) Addition des maximums.

Avec le tableau des crues du premier cas, nous avons l'inventaire complet des 8 possibilités de crues maximales à PASO del PUERTO. Les graphiques de composition de ces crues figurent dans l'annexe 6.

Au premier examen, les variantes A'$_2$ et surtout B'$_2$ constituent, pour le site de PALMAR, une telle exagération des variantes A'$_1$ et B'$_1$ que nous conseillons de n'en pas conserver l'hypothèse. Ce qui revient à dire que le débit déversé à BAYGORRIA doit être limité à 10 500 m^3/s, l'économie réalisée en ne construisant pas de déversoir additionnel est accrue par celle que l'on fera sur le dimensionnement de l'évacuateur de crue de PALMAR; et elle devient alors prioritaire sur la limitation des dégâts à PASO de los TOROS qui était à l'origine de ces deux variantes.

../.

On peut maintenant conclure en 2 points en ce qui concerne le débit maximal de crue pouvant arriver dans la retenue de PALMAR :

1) Sur un chiffre de 20 000 m^3/s qui englobe les variantes A, B et C -

2) Sur un chiffre de 22 500 m^3/s qui englobe les autres varian- A'$_1$ - B'$_1$ et D et présente la couverture de tous les risques.

Il est évident que le déversement en aval du barrage de PALMAR de débits de l'ordre de 20 000 à 22 500 m^3/s, même avec l'amortissement important du lit naturel (végétation forestière du lit majeur et débordements en très hautes eaux) sur environ 100 km, amènerait à MERCEDES une onde de crue contre laquelle il serait très difficile de protéger cette ville.

On pourrait donc envisager de réduire ce risque en amortissant la crue maximale dans la retenue de PALMAR, ce qui implique l'existence d'une réserve non négligeable.

A titre indicatif, nous avons calculé les volumes à emmagasiner pour ne déverser en aval de PALMAR que 17 000, 16 000 ou 15 000 m^3/s pour chaque variante de la crue maximale.

Le tableau suivant présente ces volumes en millions de m^3 -

Variantes	Qd = 17 000 m^3/s	Qd = 16 000 m^3/s	Qd = 15 000 m^3/s
A	0	0	0
B	200	375	545
C	455	800	1 180
A'$_1$	0	70	375
B'$_1$	615	960	1 500
D	1 000	1 290	1 750

A partir de ces données, une étude économique intégrant les possibilités d'emmagasinement de la retenue, les variations du coût de l'évacuateur, celles de la productibilité et enfin la protection plus ou moins grande de MERCEDES permettra de proposer un débit maximal rationnel pour l'évacuateur de crue.

../.

En allant plus loin, on dira que des crues maximales de fréquence aussi rares (1/1000° et moins) ont peu de chances de se produire et que le coût de la construction d'un évacuateur de crues pour de tels débits (15 à 22 500 m³/s) pourrait être réduit en adoptant le schéma d'un déversoir principal pouvant évacuer toutes les crues jusques et y compris la crue disons centenaire associé à un dispositif annexe de sécurité en cas de crue exceptionnelle. A notre avis, un dispositif annexe (sous forme de digue minée comme à BAYGORRIA par exemple) dont le maniement n'est pas aussi souple que celui d'un déversoir classique, peut être dangereux pour l'aval s'il est utilisé à mauvais escient.

Quoi qu'il en soit, nous avons calculé cette crue centenaire pour PALMAR.

Sur le bassin partiel, nous l'avons dit, la phase pluvieuse d'Avril 1959 et la crue résultante ont été des phénomène d'ordre centenaire. En choisissant la répartition la plus défavorable des pluies durant la décade envisagée, on arrive à la variante B de la crue du bassin partiel dont le débit maximal est de 8400 m³/s. Un épisode pluvieux de fréquence 1/100° donne sur le bassin du RIO NEGRO en amont de BONETE, une crue nécessairement inférieure et de beaucoup à celle d'Avril 1959; il n'y aura donc aucune difficulté à laisser cette retenue fermée pendant 4 à 6 jours pour que s'évacuent les forts débits du bassin en aval.

Que peut-on attendre du Bassin intermédiaire de BAYGORRIA ? Une pluie centenaire ponctuelle de 200 mm, réduite à 160 mm sur la totalité du bassin, suivie le lendemain d'une précipitation moyenne de 100 mm, constituerait un schéma acceptable. Un calcul rapide de l'hydrogramme résultant nous amène à un débit maximal journalier de 5000 m³/s.

La superposition exacte des maximums conduit à 13 400 m³/s à PALMAR. L'adoption d'un déversoir susceptible de débiter 13 500 m³/s pourrait être envisagée. Il servirait à évacuer toutes les crues jusques et y compris celles de fréquence centenaire.

On lui adjoindra un évacuateur annexe pour crues exceptionnelles qui devra débiter soit :

1) de 6500 à 9000 m³/s suivant l'importance des risques contre lesquels on veut se prémunir (maximums de 20 et 22 500 m³/s) et si aucun amortissement n'est possible dans la retenue de PALMAR.

../.

2) de 1500 à 3500 m^3/s si l'amortissement est possible et que l'évacuation est limitée à 15 000 ou 17 000 m^3/s par exemple. Dans ce cas d'ailleurs, la crue centenaire pourrait être aussi amortie. Nous n'avons pas voulu analyser toutes les variantes possibles de crue centenaire, dont les formes des hydrogrammes différentes influent sur les possibilités d'amortissement. A titre d'exemple, pour l'hydrogramme calculé (graphique dans l'annexe 6), il faudrait emmagasiner 600 millions de m^3 pour limiter le déversement à 11 000 m^3/s et 1300 millions pour le limiter à 10 000 m^3/s.

SECTION 4 - LES CRUES DU RIO NEGRO A YAPEYU -

L'hypothèse non exclue de la construction d'un second barrage en ce lieu nous amène, avant de clore ce chapitre, à étudier les modifications que subissent les crues exceptionnelles en passant de PALMAR à YAPEYU.

Le bassin versant s'accroît de 4250 km^2 pour atteindre 66 810 km^2; cêt accroissement est dû à 3 affluents : l'ARROYO GRANDE del NORTE (pour 50 %) et l'ARROYO DON ESTEBAN en rive droite, l'ARROYO VERA en rive gauche.

Ces cours d'eau ne ressemblent ni à ceux du bassin du YI, ni à ceux du bassin intermédiaire de BAYGORRIA. Ils ont une pente plus faible et coulent sur un substratum gréseux du crétacé ou sur des dépôts plus récents. La perméabilité de ces terrains est certainement la meilleure de tous les sols du bassin du RIO NEGRO. A superficie voisine, on peut donc estimer que cette zone débitera beaucoup moins que le bassin intermédiaire de BAYGORRIA. Nous n'avons aucune observation hydrologique permettant de préciser cette supposition.

Nous nous sommes donc contentés de faire deux hypothèses simples et vraisemblables pour le bassin supplémentaire à YAPEYU :

- temps de réponse aux pluies égal à 48 heures -

- hydrogramme égal à 75 % de celui du bassin intermédiaire de BAYGORRIA ,ce qui donne des débits maximaux moyens journaliers de :

  3750 m^3/s pour la crue centenaire,
  4600 m^3/s pour les crues associées aux variantes C et D,
  5000 m^3/s pour les crues associées aux variantes A, B, A' et B'

../.

La crue locale survient à YAPEYU avec une certaine avance (24 à 48 h) sur la crue évacuée à PALMAR. La composition des deux ondes donne pour les débits maximaux journaliers en m^3/s :

Variante	1/100°	A	B	A'$_1$	B'$_1$	C	D
Lâchure de PALMAR	10 500	13 400	13 800	13 800	15 600	13 500	15 à 17 000
Crue locale	3 750	5 000	5 000	5 000	5 000	4 600	4 600
Débit à YAPEYU	14 250	18 400	18 800	18 800	20 600	18 100	19 600 à 21 600

La crue variante D est la seule pour laquelle il faut faire l'hypothèse de l'amortissement dans la retenue de PALMAR.

En conclusion, pour la crue maximale on trouve 2 limites

a) 19 000 m^3/s pour les variantes A, B et C,

b) 22 000 m^3/s pour toutes les variantes.

Ces valeurs sont légèrement inférieures à celles obtenues pour PALMAR. On peut donc dire que l'équipement du barrage de YAPEYU peut être pris, dans le premier stade des études, équivalent à celui de PALMAR en ce qui concerne la capacité des évacuateurs de crue.

Si l'on retient l'hypothèse d'un déversoir limité aux crues centenaires, sa capacité passerait de 13 500 à 14 250 m^3/s.

Le manque d'informations sur les crues des affluents proches de YAPEYU nous oblige à présenter les chiffres précédents sous toutes réserves et à conseiller à la UTE, dans le cas où ce deuxième aménagement serait retenu, d'entreprendre des observations hydrologiques sur les ARROYOS GRANDE del NORTE et DON ESTEBAN pour préciser les crues de cette région.

../.

Tableau 3.56

CARACTERISTIQUES des CRUES EXCEPTIONNELLES du RIO NEGRO

Variantes	A		B		C		Centenaire	
Retenues	Qm	Qs	Qm	Qs	Qm	Qs	Qm	Qs
BONETE	18 700	7 à 7 500	19 200	7 à 7 500	13 500	7 000	10 000	6 000
Crue locale à BAYGORRIA	6 750	8 000	6 750	10 200	6 100	7 000	5 000	6 000
Bassin partiel (YI)	6 300		8 400		13 300		8 400	
PASO del PUERTO-PALMAR	13 400	13 400	18 600	17 000 *	19 800	17 000 *	13 400	13 400
Crue locale a YAPEYU	5 000		5 000		4 600		3 750	
YAPEYU	18 400	17 000 *	18 800	17 000 *	18 100	17 000 *	14 250	14 250

- Qm = débit maximal de crue d'un bassin intermédiaire entre 2 retenues
  ou
  débit maximal de crue arrivant dans une retenue.

- Qs = débit maximal de déversement en aval d'une retenue.

  Qs* = valeur hypothétique compte tenu d'un amortissement dans les 2 retenues projetées.

Tableau 3.57

CARACTERISTIQUES des CRUES MAXIMALES "PLAFOND" du RIO NEGRO

Variantes	A'1		A'2		B'1		B'2		D	
Retenues	Qm	Qs	Qm	Qs	Qm	Qs	Qm	Qs	Qm	Qs
BONETE	22 300	8 800	22 300	7 860	23 000	9 800	23 000	8 450	16 850	7 000
Crue locale à BAYGORRIA	6 750	10 000	6 750	12 400	6 750	10 000	6 750	13 500	6 100	7 000
Bassin partiel (YI)	7 500		7 500		10 300		10 300		15 900	
PASO del PUERTO-PALMAR	16 500	16 500	19 100	(1)	20 300	17 000*	23 800	(1)	22 200	17 000*
Crue locale YAPEYU	5 000		5 000		5 000		5 000		4 000	
YAPEYU	18 800	17 000*		(1)	20 600	17 000*		(1)	21 600	17 000*

(1) Nous conseillons de ne pas conserver les variantes A' et B'
Leurs débits n'ont donc pas été calculés pour les aménagements futurs.

CONCLUSION

L'aménagement rationnel du RIO NEGRO et la protection contre les crues des barrages existants et futurs et des installations riveraines (villes ...) impliquent :

1) La surélévation du barrage de RINCON del BONETE à la cote 87 m (ancien nivellement) -

2) La construction au même lieu d'un second déversoir doublant la capacité du déversoir actuel -

3) La mise en place d'un Service de Prévision des Crues centré à BONETE avec des postes secondaires à BAYGORRIA, DURAZNO, PALMAR et YAPEYU -

4) L'établissement d'un programme d'exploitation des déversoirs de tous les barrages à partir des données hydro-météorologiques et qui devra permettre, d'après les annonces du Service de Prévision des Crues, un maniement coordonné et adéquat de tous ces évacuateurs -

5) Le maintien du plan d'eau du lac de BONETE à la cote maximale de 80 m durant le semestre Avril-Octobre.

Ces conditions remplies, les crues exceptionnelles de fréquences centenaire et plus rare (disons environ 1/1000°) pourront être emmagasinées dans le lac de BONETE, le débit maximal déversé en aval n'excédant jamais 7500 m^3/s ce qui mettra la ville de PASO de los TOROS à l'abri des dégâts.

L'actuel déversoir de BAYGORRIA calibré pour 10 500 m^3/s au maximum sera suffisant.

La recherche d'une sécurité plus grande, disons quasi totale, nous a conduit à envisager une crue maximale plus grave, une "crue plafond" en quelque sorte. Pour celle-ci, les conditions précédentes 1-2-3 et 4 restent nécessaires mais non suffisantes; il faut modifier la 5ème condition en abaissant le niveau maximal admissible dans la retenue de BONETE à 79 m durant la période Avril-Octobre.

../.

Malgré cela, le débit déversé à BONETE excédera 7500 m^3/s puisqu'il pourrait atteindre 8800 et 9800 m^3/s. Il y aura alors des dégâts plus ou moins importants dans la région de PASO de los TOROS selon que l'on envisagera la possibilité de limiter à 10 500 m^3/s le débit déversé à BAYGORRIA ou de le porter à 13 500 m^3/s . Des considérations économiques dicteront le choix entre ces deux solutions. Nous conseillons cependant de renoncer à la deuxième hypothèse, à la fois pour diminuer le coût des ouvrages des aménagements projetés et limiter les risques d'inondation dans le cours inférieur du RIO NEGRO.

Les tableaux 3.56 et 3.57 rassemblent toutes les caractéristiques des crues exceptionnelles et maximales du RIO NEGRO. Nous y avons admis la possibilité d'amortir environ 1 milliard de m^3 dans les retenues projetées, ce qui limiterait le déversement en aval de YAPEYU à 17 000 m^3/s. Une telle onde de crue, déjà passablement amortie grâce à la retenue de BONETE, subira encore un aplatissement non négligeable dans le lit naturel avant d'atteindre la ville de MERCEDES, pour laquelle le maximum possible aura été fait dans les aménagements et leurs exploitations afin de réduire les risques d'inondation.

Les évacuateurs de crue des ouvrages projetés pourront être calculés pour 17 000 m^3/s, la possibilité d'amortissement vérifiée, ou bien pour 13 500 et 14 250 m^3/s si l'on ne veut les prévoir que pour les crues centenaires, un dispositif annexe de sécurité leur étant alors adjoint pour permettre le passage des 3 000 et 3 500 m^3/s supplémentaires en cas de crue exceptionnelle.

Ces conclusions s'appliquent à l'évacuation optimale d'une crue exceptionnelle survenant dans le bassin du RIO NEGRO. Nous savons que le risque n'est réellement patent que d'Avril à Octobre. Aussi, durant le semestre estival d'Octobre à Mars pourra-t-on suivre des règles d'exploitation moins strictes à BONETE. Nous pensons qu'en Octobre, le niveau de la retenue peut être maintenu entre 82 et 83 m; le volume disponible au-dessus est encore suffisant pour emmagasiner une crue représentant 90 % de celle d'Avril 1959, ce qui semble un maximum pour cette période de l'année.

../.

En ce qui concerne les quantités d'eau disponibles pour l'aménagement du bief PASO del PUERTO-PALMAR, voici brièvement rappelées les conclusions de notre étude :

1 - Apport moyen annuel : 725 m^3/s ou 23 milliards de m^3.

2 - Apport en année décennale sèche 270 m^3/s ou 8,5 milliards de m^3.

3 - Risque décennal d'avoir une phase sèche de 3 à 4 années consécutives donnant moins de 75 % de l'apport moyen, deux de ces années pouvant ne pas fournir 50 % du dit apport moyen.

4 - L'usine aval travaillant pratiquement sans réserve appréciable, l'appoint du bassin intermédiaire au déversement de BONETE sera seulement de 7 m^3/s en année normale et de 2,5 m^3/s en année décennale sèche.

Rappelons enfin que nos faibles connaissances du régime du RIO YI et des affluents du RIO NEGRO en aval de BONETE exigent la poursuite de mesures hydrologiques et que les transports solides devront être étudiés avec soin lors des crues.

-=-=-=-=-=-

ANNEXES

S O M M A I R E   D E S   A N N E X E S

P = Plan
T = Tableau
N = Note

../.

ANNEXES AU CHAPITRE III -

../.

../.

../.

N. ANNEXE N° 6 - Crue maximale du bassin partiel - Calculs des hydrogrammes synthétiques.

P 3.41 - Bassin partiel entre PALMAR et BAYGORRIA

T 3.42 - Précipitations moyennes journalières sur les zones isochrones (Variante A)

T 3.43 - Débits moyens journaliers

T 3.44 - Volumes écoulés chaque jour arrivant à PALMAR (valeurs cumulées)

P 3.47 - Crue à PALMAR - Variante A

P 3.48 - Crue à PALMAR - Variante B

P 3.49 - " " " " A'_1

P 3.50 - " " " " A'_2

P 3.51 - " " " " B'_1

P 3.52 - " " " " B'_2

P 3.53 - " " " " C

P 3.54 - " " " " D

P 3.55 - " " " Fréquence centenaire

N.B - Il n'y a ni plan ni tableau 3.45 - 3.46

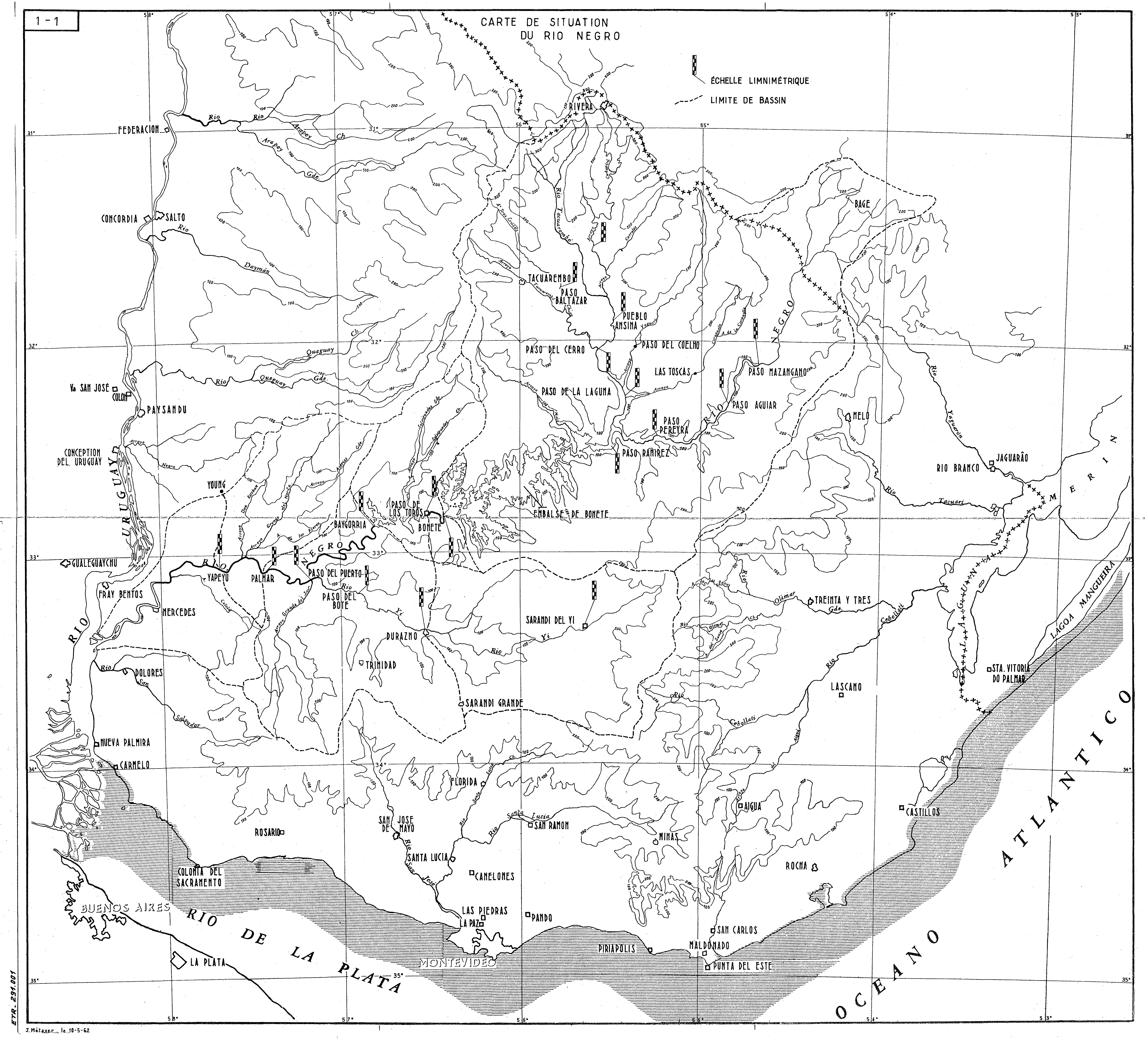

1-1
CARTE DE SITUATION
DU RIO NEGRO
ÉCHELLE LIMNIMÉTRIQUE
LIMITE DE BASSIN
RIVERA
FEDERACION
CONCORDIA
SALTO
TACUAREMBO
PASO BALTAZAR
PUEBLO ANSINA
PASO DEL COELHO
PASO DEL CERRO
LAS TOSCAS
PASO MAZANGANO
PASO DE LA LAGUNA
PASO AGUIAR
PASO PEREYRA
PASO RAMIREZ
BAGE
MELO
JAGUARÃO
RIO BRANCO
Va SAN JOSÉ
COLON
PAYSANDU
CONCEPTION DEL URUGUAY
URUGUAY
YOUNG
PASO DE LOS TOROS
BONETE
EMBALSE DE BONETE
BAYGORRIA
RIO NEGRO
GUALEGUAYCHU
FRAY BENTOS
YAPEYU
PALMAR
PASO DEL PUERTO
PASO DEL BOTE
MERCEDES
SARANDI DEL YI
TREINTA Y TRES
DURAZNO
TRINIDAD
DOLORES
SARANDI GRANDE
LASCANO
STA. VITORIA DO PALMAR
LAGOA MANGUEIRA
MERIN
LAGUNA
NUEVA PALMIRA
CARMELO
FLORIDA
SAN JOSE DE MAYO
SAN RAMON
MINAS
AIGUA
CASTILLOS
ROSARIO
SANTA LUCIA
CANELONES
ROCHA
COLONIA DEL SACRAMENTO
BUENOS AIRES
RIO DE LA PLATA
LAS PIEDRAS
LA PAZ
PANDO
SAN CARLOS
MALDONADO
PIRIAPOLIS
MONTEVIDEO
PUNTA DEL ESTE
LA PLATA
OCEANO ATLANTICO
RIO
ETR. 291.001
J. Métayer le 10-5-62

TABLEAU 1-2

MOYENNES MENSUELLES DES DONNEES CLIMATOLOGIQUES

DE LA STATION DE RINCON DEL BONETE

ANNEE	1946					1947					1948				
MOIS	Temp. Minima °C	Temp. Maxima °C	Humidité Relative %			Temp. Minima °C	Temp. Maxima °C	Humidité Relative %			Temp. Minima °C	Temp. Maxima °C	Humidité Relative %		
			7 h	14 h	17 h			7 h	14 h	17 h			7 h	14 h	17 h
JANVIER	14,6	26,3	83	51	50			80	61	56	18,6	27,9	88	69	65
FEVRIER	15,6	27,7	88	54	52			88	60	57	17,0	26,8	88	63	59
MARS	12,5	24,6	89	50	49			89	65	64	15,0	24,8	89	66	63
AVRIL	10,1	22,1	92	56	55			92	69	67	12,3	21,6	93	71	71
MAI	7,8	16,7	94	68	71			93	67	70	8,9	18,1	90	65	68
JUIN	4,0	12,1	93	75	78			92	79	79	9,1	18,2	91	72	76
JUILLET	2,5	11,8	95	68	72			90	67	68	8,1	15,8	92	74	74
AOUT	6,0	14,6	90	72	74			88	59	59	4,8	15,3	89	58	59
SEPTEMBRE	7,7	17,5	90	84	70			90	66	64	11,5	18,3	91	77	75
OCTOBRE	8,9	20,9	89	68	67	11,4	20,5	89	62	59	10,3	20,3	88	61	62
NOVEMBRE	13,7	23,2	85	62	61	14,7	24,9	85	64	64	13,3	24,3	83	57	57
DECEMBRE	14,4	24,0	83	65	61	15,2	26,2	78	55	52	18,4	29,6	78	52	51

Les thermomètres étaient cassés de Janvier à Septembre 1947

TABLEAU 1-2

MOYENNES MENSUELLES DES DONNEES CLIMATOLOGIQUES

DE LA STATION DE RINCON DEL BONETE

ANNEE	1949					1950				
MOIS	Temp. Minima °C	Temp Maxima °C	Humidité Relative %			Temp. Minima °C	Temp. Maxima °C	Humidité Relative %		
			7 h	14 h	17 h			7h	14 h	17 h
JANVIER	18,3	26,9	83	56	55	16,5	30,8	75	44	43
FEVRIER	17,6	28,1	84	58	52	18,2	28,1	86	53	52
MARS	15,8	24,8	90	75	70	17,0	26,4	85	52	50
AVRIL	12,7	22,4	88	63	65	14,2	23,3	90	86	56
MAI	9,3	19,1	90	68	67	12,2	20,2	85	66	71
JUIN	7,8	16,3	93	76	77	10,3	16,5	91	81	81
JUILLET	7,2	14,3	90	75	74	7,0	14,4	90	74	77
AOUT	7,8	14,8	91	69	70	7,1	16,5	90	70	69
SEPTEMBRE	10,5	17,5	91	71	70	8,9	16,4	89	72	73
OCTOBRE	10,9	18,8	90	69	64	10,8	20,9	87	61	59
NOVEMBRE	14,8	25,1	85	55	56	12,6	25,0	84	56	57
DECEMBRE	16,4	29,1	74	46	43	14,8	30,9	86	63	63

TABLEAU 1-3

TOTAUX MENSUELS DE L'EVAPORATION

DANS LE BAC DE CLASSE A, A RINCON DEL BONETE

(mm)

Année	1946	1947	1948	1949	1950	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	Moyennes
Janvier	311	271	197	311	355	315	325	281	263	317	229	350	251	267	278	283	288
Février	243	205	210	219	233	202	221	252	261	163	176	236	217	174	223	189	213
Mars	193	167	148	178	228	193	213	183	189	152	196	188	189	154	174		179
Avril	138	92	84	120	129	105	103	95	112	86	108	141	114	(116)	134		111
Mai	75	63	77	85	81	70	82	68	82	58	56	102	125	75	106		79
Juin	49	55	50	51	36	73	49	47	47	50	51	56	58	51	70		53
Juillet	49	39	47	51	44	81	54	53	45	46	64	70	57	65	(56)		55
Août	73	84	66	70	80	87	63	106	101	84	95	102	102	78	(86)		82
Septemb.	117	83	88	92	96	106	91	100	90	80	114	93	104	118	108		99
Octobre	149	161	135	116	156	157	135	145	161	112	147	177	172	153	138		148
Novembre	196	219	195	224	234	181	204	215	188	257	251	170	185	168	195		205
Décembre	228	246	289	336	311	254	291	271	309	360	313	238	263	257	306		285
Totaux	1821	1685	1586	1793	1962	1624	1811	1816	1848	1745	1795	1928	1837	(1676)	(1874)		1797

NOTE ANNEXE AU CHAPITRE I

ESTIMATION DE LA PLUIE MOYENNE ANNUELLE A L'OBSERVATOIRE DU PRADO DE MONTEVIDEO POUR LA PERIODE DE 1883 A 1960

L'observatoire du PRADO fonctionne depuis 1901. La moyenne de la pluviométrie annuelle pour les 60 ans de 1901 à 1960 vaut 1029 mm.

A environ 10 km au N.N.W du PRADO, se trouve le COLEGIO PIO dont l'observatoire effectua des relevés pluviométriques de 1883 à 1942. Une corrélation très étroite lie les relevés des deux observatoires, de 1901 à 1942; malheureusement, la droite de corrélation change en 1910. Cet accident est vraisemblablement imputable au COLEGIO PIO, soit à un changement de pluviomètre ou d'éprouvette de mesures de la pluie, soit à un déplacement du dit pluviomètre.

On trouve ainsi que le coefficient de correction applicable à la pluie de COLEGIO PIO pour obtenir celle du PRADO est de 1,11 de 1911 à 1942 et 0,835 de 1901 à 1910.

Cet accident est regrettable car la seule partie utile de la corrélation pour augmenter la période d'observation du PRADO de 18 années est celle de la période 1901-1910, un peu courte pour que la précision soit excellente.

Après correction par 0,835 des relevés de 1883 à 1900 du COLEGIO PIO, on trouve pour MONTEVIDEO-PRADO une moyenne de 987 mm pour la période complète de 78 ans (1883-1960). On trouvait 1014 mm en ajoutant les relevés du COLEGIO PIO (1883-1900) à ceux du PRADO (1901-1960)sans correction des premiers. La différence finale qui n'est que de 3 % est assez peu significative. On peut en retenir que très vraisemblablement la pluie moyenne à MONTEVIDEO pour les 78 dernières années est légèrement inférieure à 1000 mm.

RECONSTITUTION de la COURBE HAUTEURS-DEBITS à PASO del PALMAR

Cote à l'échelle de PALMAR	Débits d'après D-H (1)	Débits d'après YAPEYU (2)	Débits d'après PUERTO (2)	Débits choisis en m^3/s
0,00		18		20
20		36		40
40	60	60		65
60		90	110	95
80		120	140	125
1,00	150	155	180	160
20		200	230	205
40	250	250	285	260
60		305	340	315
80		360	395	370
2,00	380	415	450	430
20		475	510	490
40	500	540	580	555
60		610	650	625
80		680	720	695
3,00	690	755	800	770
25		850	880	860
50		950	980	960
75		1055	1080	1060
4,00	1040	1160	1180	1160
50		1390	1380	1390
5,00	1440	1640	1600	1640
50		1900	1860	1900
6,00	1860	2160	2130	2160
50		2420	2410	2430
7,00	2330	2690	2700	2700
50		2960	3000	2980
8,00	2830	3240	3300	3270
50		3530	3630	3580
9,00	3370	3820	3970	3900
50	3630	4140	4320	4230
10,00	3930	4480	4680	4580
50	4230	4860	5100	4980
11,00	4530	5240	5560	5400
50	4840		6020	5830
12,00	5160		6500	6280
50	5480		7000	6740
13,00	5820		7520	7220
50	6160		8080	7720
14,00	6500		8660	8240
50	6850		9280	8780
15,00	7200		9950	9340

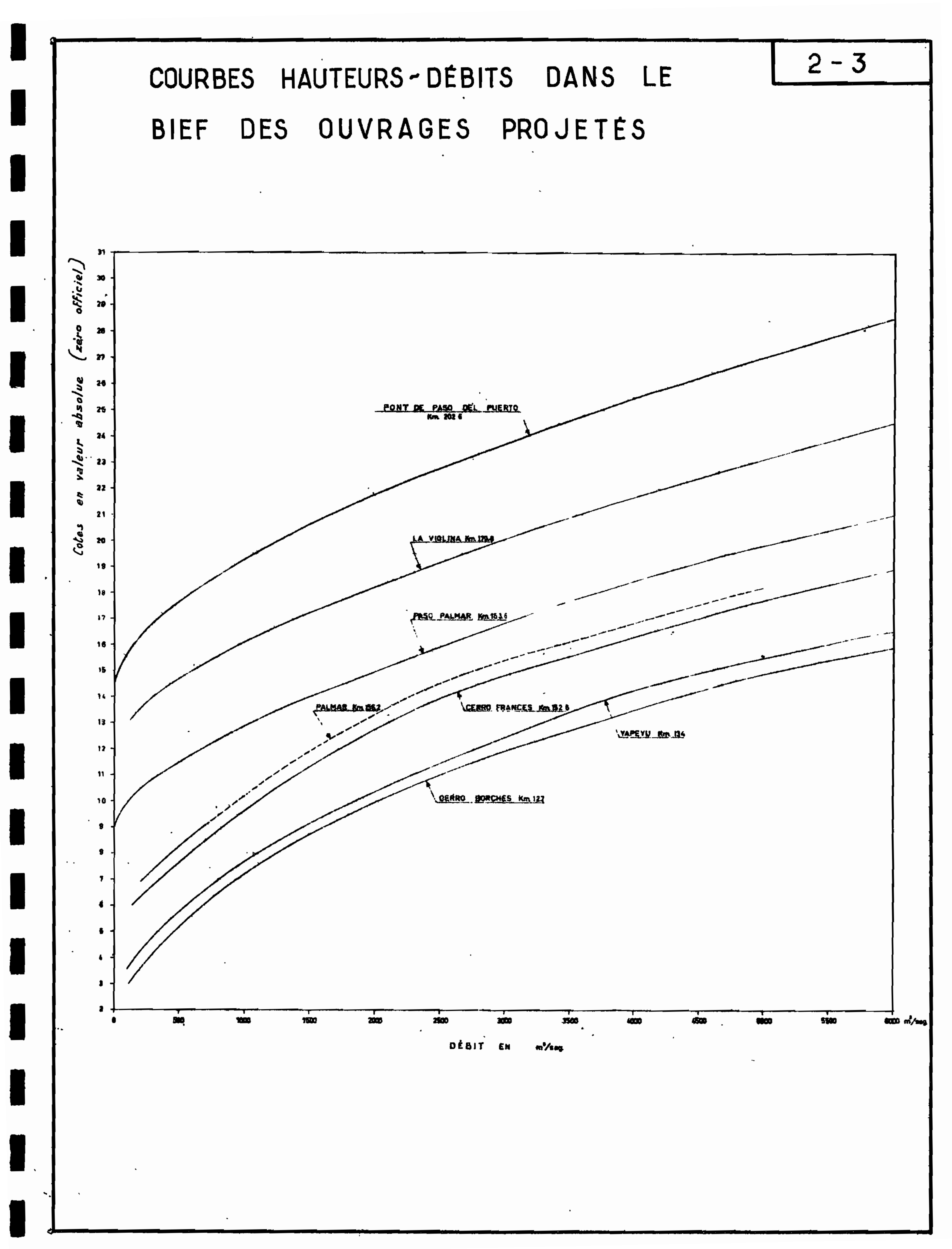
(1) Courbe hauteurs-débits de la Direction d'Hydrographie

(2) Courbes déduites par corrélations d'échelles

TABLEAU 2.2

LES ECHELLES DANS LE BIEF PASO del PUERTO - YAPEYU

EMPLACEMENT	Kilométrage	Cote du Zéro	Période de lecture
Parque Hidalgo	204	16,01	
Pont de Paso del Puerto	202,6	15,90	Depuis 1952
Cerro Navarro	196,2	15,64	
La Violina	181	13,64	
La Violina	179,8	13,77	Depuis le 16/II/1962
Los Olivos	172,7	11,11	
Paso Palmar	163,6	9,28	1909-1944 et depuis le 9 Février 1962
Palmares (Profil)	156,2	7,32	
Cerro del Francés	152,8	5,90	Depuis le 1° Mai de 1961
Estancia La Isabel	137,1	4,34	
Puesto Bichadero	134	3,63	
Cerro Borches	127	3,41	12/12/60 au 12/4/61 et depuis le 6 Avril 1962



2 - 3
COURBES HAUTEURS-DÉBITS DANS LE BIEF DES OUVRAGES PROJETÉS
Cotes en valeur absolue (zéro officiel)
PONT DE PASO DEL PUERTO Km 202 6
LA VIOLINA Km 179,8
PASO PALMAR
PALMAR
CERRO FRANCES Km 152 6
YAPEYU Km 134
CERRO BORCHES Km 127
0 500 1000 1500 2000 2500 3000 3500 4000 4500 5000 5500 6000 m³/seg
DÉBIT EN m³/seg

TABLEAU 2.4

DEBITS MOYENS MENSUELS ET MODULES DU RIO NEGRO A PASO de los TOROS (m^3/s)

PERIODE 1908-1944

Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Module
1908	186	7,6	0	11	496	852	903	743	1431	649	235	142	472
1909	44	16	37	29	52	204	896	1273	235	149	50	71	258
1910	190	285	74	416	239	112	123	368	1157	298	77	41	282
1911	41	74	3,4	875	1191	412	358	955	901	190	158	328	459
1912	1168	91	67	559	2848	2338	2042	1243	478	93	825	317	1010
1913	209	124	530	853	787	582	866	941	1034	448	1049	89	626
1914	156	169	627	1601	1669	1686	2214	1067	1805	3050	1026	2983	1515
1915	212	690	1277	1531	2438	1466	314	210	1779	357	143	50	870
1916	23	41	19	18	18	74	72	450	245	105	29	56	96
1917	38	141	56	75	38	27	31	54	152	57	12	7,7	57
1918	82	132	300	417	1356	911	813	219	1827	2329	242	133	734
1919	63	40	76	89	233	944	1731	2561	1469	281	603	244	682
1920	72	21	195	326	287	1372	1508	535	154	862	210	371	495
1921	172	505	155	745	389	578	1895	678	450	1461	125	45	602
1922	29	18	15	99	123	690	1221	1849	2034	365	47	28	546
1923	19	173	37	51	108	96	337	1445	2107	1039	371	2049	657
1924	476	42	44	414	65	413	566	1086	1034	310	38	16	376
1925	15	71	129	921	2586	929	125	447	1503	1064	98	47	664
1926	18	17	8,4	21	80	1448	1304	1240	686	1073	211	568	560
1927	38	16	7,2	114	26	305	467	331	698	1883	196	35	346
1928	17	10	27	413	255	831	632	195	566	811	709	28	374
1929	5,5	1,8	349	22	12	119	823	814	378	1202	488	24	357
1930	91	8,2	37	51	1793	1566	944	584	1403	180	246	463	617
1931	424	123	33	45	201	812	1238	789	428	62	389	97	388

TABLEAU 2.4
(suite)

DEBITS MOYENS MENSUELS ET MODULES DU RIO NEGRO A PASO de los TOROS (m^3/s)

PERIODE 1908-1944

Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Module
1932	18	43	181	309	545	990	1391	1994	547	861	378	62	614
1933	62	25	79	23	11	168	314	203	350	319	128	13	142
1934	4,9	61	802	426	75	908	730	612	387	716	662	71	469
1935	28	19	348	102	23	40	414	160	170	549	461	189	223
1936	165	95	175	601	3155	2860	1505	594	319	1449	158	67	933
1937	244	210	1051	181	386	173	932	1140	1211	706	266	53	550
1938	194	239	399	1329	278	225	437	555	1107	369	329	225	473
1939	65	39	42	150	174	324	1007	315	1671	163	573	70	382
1940	105	263	35	1459	1494	1303	1336	1827	1359	969	135	2094	1036
1941	202	2305	792	1859	3641	920	432	3561	907	109	64	327	1255
1942	58	61	112	454	1375	1076	2305	925	246	155	35	11	573
1943	11	14	11	20	33	137	254	71	39	80	19	14	59
1944	159	51	74	26	28	56	44	65	29	623	158	19	112
Moyen-nes (37 ans)	138	169	222	449	770	755	879	862	873	686	296	309	536

DEBITS CARACTERISTIQUES DU RIO NEGRO
à PASO de los TOROS

PERIODE 1916-1944

Année	DCC m^3/s	DC3 m^3/s	DC6 m^3/s	DC9 m^3/s	DCE m^3/s
1916	620	90	40	20	16
1917	226	60	35	25	7
1918	4760	967	284	172	51
1919	3233	1070	236	78	29
1920	1947	606	300	110	18
1921	3017	703	361	119	35
1922	2899	886	81	25	12
1923	2848	933	186	47	18
1924	1610	533	119	46	13
1925	4208	960	155	58	13
1926	2008	1019	207	19	7
1927	3159	304	57	23	5
1928	1183	679	282	25	6
1929	1760	694	68	7	1
1930	2372	1053	232	52	5
1931	1816	591	119	43	15
1932	2326	1019	405	73	7
1933	658	186	60	18	8
1934	1606	739	315	63	3
1935	1234	246	110	24	11
1936	4000	1363	437	101	15
1937	1816	837	479	492	24
1938	2153	508	296	179	38
1939	2410	354	137	53	20
1940	3085	1525	1385	152	29
1941	4986	1925	443	122	50
1942	3320	895	137	40	8
1943	313	75	23	13	8
1944	735	96	45	26	10

TABLEAU 2.6

DEBITS MOYENS MENSUELS ET MODULES A BONETE (m^3/s)

PERIODE 1945-1961

Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Module
1945	4	5	7	7	10	17	21	106	309	201	214	429	111
1946	22	138	25	27	31	53	67	569	1302	2025	322	435	420
1947	144	625	77	154	413	487	1202	264	127	887	68	81	377
1948	325	169	150	606	628	705	1556	169	1298	982	285	94	580
1949	76	74	402	745	99	809	1135	750	1591	1312	116	33	597
1950	0	29	0	709	587	2112	1641	1016	1205	190	2	4	625
1951	61	75	185	114	186	101	230	302	723	212	220	127	211
1952	43	25	125	454	629	1132	926	2459	917	453	56	21	606
1953	71	1	31	37	589	898	918	81	833	849	97	13	370
1954	131	29	133	302	253	1758	1464	760	453	242	123	0	472
1955	0	196	6	1028	1992	208	464	84	511	59	0	22	381
1956	199	138	126	183	22	76	85	703	1639	2633	186	0	500
1957	0	0	5	0	22	255	295	328	971	1683	540	148	355
1958	329	55	22	29	112	429	497	1369	1212	745	523	528	490
1959	47	487	458	5827	915	612	1486	386	1838	1456	879	54	1197
1960	81	5	283	27	11	238	2013	1772	1566	1409	238	38	644
1961	135	56	213	188	74	532	909	664	2491	1337	563	157	610
Moyennes (17 ans)	98	124	132	614	387	613	877	694	1117	981	261	128	503

DEBITS MOYENS MENSUELS ET MODULES EN AVAL de BONETE (m^3/s)

PERIODE 1945-1961

Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Module
1945	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	23	2,5
1946	70	57	74	75	90	63	72	82	79	900	218	362	180
1947	143	401	156	216	198	481	1232	267	166	549	155	156	344
1948	151	139	162	178	606	707	1490	186	1092	953	178	214	506
1949	211	225	225	218	233	620	1078	691	1498	1310	229	233	566
1950	230	234	261	255	264	947	1921	997	1216	246	264	270	594
1951	269	279	275	145	200	215	287	169	266	136	132	137	209
1952	126	133	161	144	200	320	700	2354	841	403	285	296	500
1953	298	201	153	142	165	363	357	327	326	684	293	302	302
1954	287	317	197	194	240	391	1395	777	346	324	318	323	428
1955	345	276	311	211	967	457	366	348	220	342	343	223	369
1956	187	135	191	341	147	99	103	258	397	1988	362	385	335
1957	417	489	369	123	119	142	125	139	346	337	369	377	278
1958	429	350	424	457	271	287	459	473	441	422	420	418	405
1959	423	429	440		264	760	1172	251	1890	1374	1020	508	(1012)
1960	0	0	54	204	299	230	795	1726	1348	1439	340	366	571
1961	360	371	218	221	215	247	402	392	1739	1010	815	408	532
Moyennes (17 ans)	232	237	216	397	263	372	703	555	718	731	338	294	421

COEFFICIENTS ET DEBITS D'ECOULEMENT ANNUELS DU RIO NEGRO
A BONETE & PASO de los TOROS

Année	Pluviométrie (mm)	Ecoulement (mm)	Déficit d'écoulement (mm)	Ke %
PASO de los TOROS				
1912	1340	792	548	59,1
1913	1140	489	651	42,8
1914	1930	1185	745	61,3
1915	1240	680	560	54,9
1916	740	75	665	10,1
1917	690	45	645	6,5
1918	1390	574	816	41,3
1919	1320	533	787	40,4
1920	1200	388	812	32,4
1921	1110	471	639	42,5
1922	1030	427	603	41,5
1923	1320	514	806	38,9
1924	780	295	485	37,8
1925	1260	519	741	41,1
1926	1230	438	792	35,6
1927	960	271	689	28,2
1928	980	293	687	29,9
1929	1090	279	811	25,6
1930	1340	482	858	35,9
1931	1110	303	807	27,2
1932	1390	481	909	34,6
1933	900	111	789	12,3
1934	1220	367	853	30,1
1935	1010	174	836	17,2
1936	1590	731	859	46
1937	1120	430	690	38,4
1938	1210	370	840	30,6
1939	1070	299	771	28
1940	1700	812	888	47,7
1941	1720	981	739	57
1942	1060	448	612	42,2
1943	680	46	634	6,8
1944	880	88	792	10
M	1174	436	738	37,1

COEFFICIENTS ET DEBITS D'ECOULEMENT ANNUELS DU RIO NEGRO
A BONETE & PASO de los TOROS

Année	Pluviométrie (mm)	Ecoulement (mm)	Déficit d'écoulement (mm)	Ke %
BONETE				
1945	910	89	821	9,8
1946	1210	334	876	27,6
1947	1040	303	737	29,2
1948	1380	464	916	33,6
1949	1170	474	696	40,5
1950	1290	496	794	38,5
1951	1030	168	862	16,3
1952	1230	483	747	39,3
1953	1060	294	766	27,8
1954	1220	375	845	30,7
1955	1080	300	780	27,8
1956	1240	397	843	32
1957	1080	281	799	26
1958	1200	390	810	32,4
1959	2010	951	1059	47,3
1960	1260	514	746	40,7
M	1213	395	818	32,6

N.B. : M – Moyennes

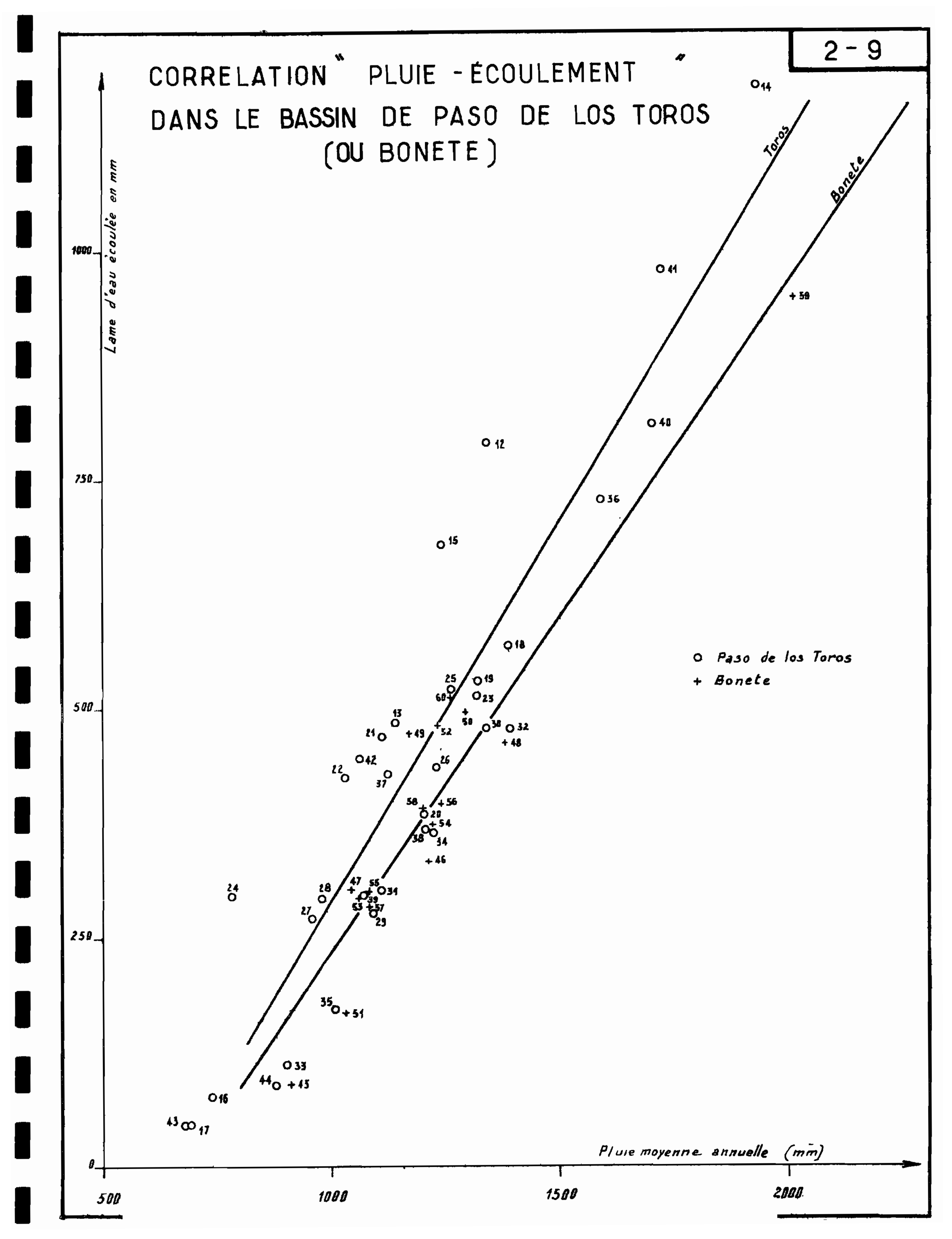

2 - 9
CORRELATION " PLUIE - ÉCOULEMENT "
DANS LE BASSIN DE PASO DE LOS TOROS
(OU BONETE)
Lame d'eau écoulée en mm
Pluie moyenne annuelle (mm)
Toros
Bonete
○ Paso de los Toros
+ Bonete
0
250
500
750
1000
500
1000
1500
2000

TABLEAU 2.10

DEBITS MOYENS MENSUELS ET MODULES DU RIO NEGRO A PASO de PALMAR (m^3/s)

PERIODE 1909-1944

Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Module
1909	49	58	47	25	(18)	(345)	994	2084	435	173	93	81	(372)
1910	168	259	52	372	197	107	107	450	1306	292	55	28	281
1911	(47)	206	(10)	(1300)	1395	357	407	1439	1090	186	244	431	(594)
1912	1254	98	65	1208	5040	2732	2589	1849	548	127	1118	316	1419
1913	235	184	592	1246	1011	738	1065	2135	1612	1146	409	69	874
1914	174	141	882	2363	2798	2678	3679	1675	3708	2986	1177	3232	2137
1915	335	531	1403	1909	3868	1747	431	303	1920	480	166	(78)	(1099)
1916	manque les relevés complets de l'année												
1917	121	577	94	219	64	59	63	70	480	94	(28)	(12)	(153)
1918	192	366	547	520	1766	(1350)	(1210)	(365)	(2645)	(3350)	(400)	(245)	(1084)
1919	73	(80)	45	410	342	1453	2962	1314	1054	339	226	131	(707)
1920	50	(30)	620	673	448	1389	(2200)	(815)	(275)	1596	460	806	(785)
1921	326	669	213	828	390	564	2204	586	560	1608	126	41	678
1922	(25)	(18)	(15)	301	374	836	2166	4051	2873	56	(20)	(15)	(902)
1923	(15)	(178)	(60)	(80)	(100)	(175)	(540)	(2100)	(3050)	(1530)	510	2454	(899)
1924	603	(20)	(40)	450	71	(421)	(860)	1649	1707	359	(65)	(25)	(524)
1925	32	105	155	1502	(3720)	(1370)	(230)	475	(2190)	(1570)	(180)	(80)	(971)
1926	(30)	(30)	(15)	48	211	1966	1633	2208	(1030)	1440	263	649	(800)
1927	60	34	(25)	210	(60)	466	1087	447	1298	2815	261	92	(576)
1928	(47)	36	79	806	367	894	907	277	776	992	824	56	(504)
1929	(18)	(10)	(468)	(35)	(15)	(139)	1409	947	527	1549	554	(35)	(481)
1930	(162)	(15)	(303)	(225)	3397	2409	1493	784	1826	281	447	822	(1020)
1931	704	254	(40)	(75)	(205)	1175	1987	1393	708	112	954	181	(651)
1932	49	86	195	315	583	1499	2232	2855	788	1004	600	110	(865)

TABLEAU 2.10
(suite)

DEBITS MOYENS MENSUELS ET MODULES DU RIO NEGRO A PASO de PALMAR

Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Module
1933	34	54	124	43	65	389	843	637	413	339	193	31	265
1934	(23)	(97)	1375	610	109	1632	1275	985	593	846	733	112	(702)
1935	43	38	(451)	185	37	56	497	220	260	715	650	223	(281)
1936	215	133	(372)	1004	4102	3448	2519	776	487	1640	227	90	(1257)
1937	330	148	1835	(295)	(946)	358	1238	1267	1991	951	367	77	(823)
1938	207	326	1307	1899	457	325	954	751	1437	518	494	252	744
1939	74	67	89	(199)	224	535	1183	631	2263	506	1021	98	(574)
1940	117	325	59	2459	2401	1778	2895	2481	3119	1154	149	3813	1735
1941	318	(3320)	(1180)	(2500)	(5200)	1771	618	5093	1389	171	106	419	(1835)
1942	81	31	231	895	1662	1481	2604	1533	1476	610	(61)	(18)	(896)
1943	(15)	(15)	(10)	(18)	(35)	344	464	190	77	233	(53)	(25)	(123)
1944	(192)	110	337	65	(394)	261	137	298	65	1626	288	(25)	(519)
Moyennes (1909-1944 sauf 1916)	183	247	381	723	1202	1064	1362	1290	1314	954	386	434	795

N.B. : Les débits entre parenthèses sont des estimations.

TABLEAU 2.11

DEBITS MOYENS MENSUELS ET MODULES DU RIO NEGRO A PASO del PUERTO (m^3/s)

PERIODE 1952-1961

Année	J	F	M	A	M	J	J.	A	S	O	N	D	Module
1952	143	144	260	613	691	944	1096	3596	1631	597	419	416	883
1953	939	394	324	471	582	1115	952	499	530	999	412	398	637
1954	423	429	367	291	359	1005	1627	1018	598	599	497	411	637
1955	461	772	469	795	1418	709	1048	535	1237	538	468	505	729
1956	663	343	284	457	228	202	195	808	2203	3164	556	506	800
1957	530	551	510	198	203	320	255	488	661	2007	633	547	577
1958	1159	453	485	513	343	450	834	1641	933	628	618	810	742
1959	507	561	613	6445	5699	1607	(1780)	(560)	(2500)	(1920)	2308	602	(2092)
1960	72	51	80	225	299	229	1227	2191	1712	2034	467	429	756
1961	551	469	424	359	303	383	616	572	2399	1162	841	476	712
Moyennes (10 ans)	545	417	382	1037	1013	696	963	1191	1440	1365	722	490	857

TABLEAU 2.12

DEBITS CARACTERISTIQUES du RIO NEGRO A PALMAR & PASO del PUERTC

(Années complètès)

Année	DCC m³/s	DC3 m³/s	DC6 m³/s	DC9 m³/s	DCE m³/s	Année	DCC m³/s	DC3 m³/s	DC6 m³/s	DC9 m³/s	DCE m³/s
PASO PALMAR						PASO del PUERTO					
1910	1744	370	110	59	25	1952	4088	1061	450	299	100
1912	5830	2056	770	160	30	1953	2351	642	495	388	207
1914	5400	3518	2160	695	80	1954	1993	713	466	386	225
1915	4980	1692	490	205	30	1955	3054	630	521	433	186
1921	3154	714	460	205	34	1956	4546	619	440	240	151
1927	4820	430	134	40	18	1957	2740	559	487	246	148
1928	1490	880	370	53	10	1958	2322	851	556	453	260
1932	3580	1344	472	275	36	1959	622	407			471
1933	1515	323	80	40	25	1960	2745	1108	381	78	47
1934	2597	1012	490	97	18	1961	3126	636	485	397	144
1938	2980	770	430	293	35						
1940	6372	2812	1330	183	40						

COEFFICIENTS ET DEFICITS D'ECOULEMENT ANNUELS DU RIO NEGRO

A **PASO PALMAR & PASO del PUERTO**

Année	Pluviométrie (mm)	Lame d'eau (mm)	Déficit d'écoulement (mm)	Coefficients d'écoulement %
PASO PALMAR				
1912	1350	717	633	53,1
1913	1090	442	648	40,5
1914	1850	1080	770	58,4
1915	1180	556	624	47,2
1916	700	66	634	9,4
1917	730	77	653	10,5
1918	1310	548	762	41,8
1919	1320	357	963	27
1920	1130	397	733	35,1
1921	1010	343	667	33,9
1922	1050	456	594	43,4
1923	1200	455	745	37,9
1924	770	265	505	34,4
1925	1190	491	699	41,2
1926	1130	404	726	35,7
1927	960	291	669	30,3
1928	920	255	665	27,7
1929	1010	243	767	24
1930	1410	516	894	36,7
1931	1170	329	841	28,1
1932	1315	437	878	33,2
1933	895	134	761	15
1934	1200	355	845	29,6
1935	980	142	838	14,5
1936	1530	636	894	41,6
1937	1035	416	619	40,2
1938	1200	376	824	31,4
1939	1065	290	775	27,2
1940	1720	877	843	50,9
1941	1635	927	708	56,6
1942	1020	453	567	44,5
1943	720	62	658	8,6
1944	935	161	774	17,2
M	1143	411	733	36

TABLEAU 2.13
(suite)

COEFFICIENTS ET DEFICITS D'ECOULEMENT ANNUELS DU RIO NEGRO
à PASO PALMAR & PASO del PUERTO

Année	Pluviométrie (mm)	Lame d'eau (mm)	Déficit d'écoulement (mm)	Coefficient d'écoulement
PASO del PUERTO				
1945	900	162	738	18
1946	1210	318	892	26,3
1947	960	318	642	33,2
1948	1300	430	870	33
1949	1160	458	702	39,4
1950	1290	473	817	36,7
1951	1050	224	826	21,3
1952	1190	450	740	37,8
1953	1110	325	785	29,3
1954	1090	325	765	29,8
1955	1090	371	719	34,0
1956	1230	407	823	33,1
1957	1080	294	786	27,3
1958	1170	378	792	32,3
1959	1890	1065	825	56,3
1960	1085	385	700	35,5
M	1175	399	776	34

N.B. : M - Moyennes

DEBITS D'ETIAGE ANNUEL A PASO de los TOROS
(1908-44)

Année	Date	Hauteur	Débit m3/s	Année	Date	Hauteur	Débit m3/s
1908	22/3-7/4		<10 (1)	1927	18/3	-0,05	5
1909	1/6		20 "	1928	21/2	-0,06	5
1910	2/4	0,32	32 "	1929	20/2	-0,15	1
1911	13-30/3		<10 "	1930	20/2	-0,07	5
1912	20/3	0,20	20 "	1931	7/3	0,09	13
1913	4/2	0,38	38 "	1932	19/1-4/2	0,00	7
1914	1/3	0,50	51 "	1933	1-3/2	-0,02	6
1915	4/2	0,40	52	1934	19/1	-0,10	3
	27-30/12	-0,10	3	1935	8/3	0,00	7
1917	30/1	0,14	16	1936	15/3	0,07	12
	Décembre	<0,00	< 7	1937	16/2	0,20	21
1919	10-14/4	0,22	23	1938	7/1	0,18	19
1920	26/2-3/3	0,15	17	1939	11/4	0,14	16
1921	27/3	0,70	75	1940	25/3	0,15	17
1922	15/3	0,05	10	1941	21/1	0,50	51
1923	24/1-4/2	0,24	18	1942	21/3	0,21	22
1924	22/3	0,26	26	1943	6-23/3	0,00	7
	29/12	0,02	8	1944	8/1	0,00	7
1926	14/3	-0,02	6				

(1) Débit estimé graphiquement

REPARTITION MENSUELLE DES ETIAGES ANNUELS

Mois	Janv.	Fev.	Mars	Avril	Mai	Juin	....	Déc.
Nombre.	7	7	16	3	0	1	..... 0 ...	3
%	19	19	43	8		3		8

DEBITS D'ETIAGE ANNUEL A PALMAR (1909-44)

Année	Date	Hauteur	Débit m³/s	Année	Date	Hauteur	Débit m³/s
1909	Mai	(<)0,00	18	1926	Janvier	0,25 ?	30
1910	3-14/4	0,10	30	1927	1-8/3	<0,00	20
1911	1-15/1 & 10/3-7/4	(<)0,00	18	1928	16-22/1	<0,00	20
				1929	Février	<0,00	10
1912	27/2-15/3	0,10	30	1930	"	"	15
1913	5-6/2	0,30	53	1931	Mars	"	40
1913	31/12	0,07	27	1932	25/1	0,06	26
(p.14)				1933	6/1	0,05	25
1915	3/2	0,40	65	1934	9-23/1	<0,00	18
1916	Avril ?	0,00	?	1935	1-12/3	<0,00	18
1917	13/6	0,10	30	1936	4-15/3	<0,00	19
	Déc.	(<)0,00	12	1937	16-19/2	0,10	30
1919	15/4	0,03	23	1938	5/10/1	0,05	25
1920	24/2-11/3	(<)0,00	18	1939	10-13/4	0,00	20
1921	27/1	0,20	40	1940	25/3	0,05	25
1922	Février	< 0,00	18	40	12-16/11	0,35	59
1923	Janvier	< 0,00	15	(p.41)			
1924	Février	< 0,00	20	1942	6/2	0,07	27
1925	8-10/2	0,10	30	1943	Février	<0,00	< 15
				1944	20-30/12/43	"	25

REPARTITION MENSUELLE DES ETIAGES ANNUELS

Mois	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	....	Nov.	Déc..
Nbre	8	10	7	4	2	1		1	4
%	22	27	19	11	5	3		3	11

TABLEAU 2.16

DEBITS MINIMAUX MESURES ET ETIAGES ESTIMES en 1962

COURS D'EAU	STATION	Superficie Km2	Débit mesuré m3/s	Débit spécifique l/s.km2	Etiage estimé l/s.km2
TRES CRUCES	Paso Baltasar	940	0,60	0,60	0,20
TACUAREMBO CHICO	Ciudad	625	0,80	1,30	0,20
CUÑAPIRU	Usina	1 980	0,40	0,20	0,15
CORRALES	P. Compania	1 025	0,19	0,19	0,19
ZAPUCAY	Los Montes	150	0,05	0,30	0,20
TACUAREMBO	P. Borracho	6 670	2,60	0,39	0,22
YAGUARI	P. Casildo	1 465	0,20	0,13	0,13
"	P. Coelho	2 455	0,43	0,17	0,17
NEGRO	P. Manzagano	6 650	0,34	0,05	0,05
"	P. Aguiar	8 270	0,42	0,05	0,05
"	P. Pereyra	11 760	1,00	0,09	0,09
YI	Sarandi	1 440	0,065	0,04	0,04
"	Durazno	8 910	3,40	0,38	0,07
"	P. Bote	12 730	7,00	0,55	0,10

TABLEAU 3.1

CRUES du RIO NEGRO A PASO de los TOROS (1908-44)

avec débit supérieur à 1500 m^3/s

Année	Date	Débit	Année	Date	Débit	Année	Date	Débit
1908	16/ 9	2520	1920	7/ 7	2599	1934	25/ 3	1859
1909	21/ 7	1920		4/10	1881		24/ 6	1610
	17/ 8	2220	1921	10/ 7	3730	1936	30/ 5	4120
1910	2/ 9	1740		5/10	2382		17/10	2269
1911	28/ 4	2800	1922	30/ 6	2195	1937	15/ 3	2473
	29/ 8	1620		29/ 8	3212		19/ 7	1582
1912	13/ 1	2280	1923	19/ 9	3028		21/ 8	2035
	28/ 4	2550		19/12	3292		26/ 9	1881
	29/ 5	4700	1924	22/ 8	1590	1938	30/ 3	2976
	23/ 7	2840		21/ 9	1859		15/ 9	1902
	24/ 8	2070	1925	19/ 4	2241	1939	9/ 7	2175
	21/11	1610		24/ 5	5060		11/ 9	2825
1913	25/ 4	1560		3/ 9	1764	1940	28/ 4	2765
	14/ 8	2800		23/ 9	2683		3/ 6	1965
	13/ 9	1810	1926	20/ 6	2619		6/ 8	3380
1914	25/ 3	2510		8/ 8	1885		4/ 9	3185
	27/ 4	2780		16/10	1961		21/10	1615
	24/ 5	2590	1927	27/ 9	3465		12/12	3200
	18/ 7	3070	1928	24/ 4	1855	1941	24/ 2	5195
	18/ 9	3730	1929	15/ 7	1606		5/ 5	5080
	16/12	3900		29/ 8	1504		23/ 8	5110
1915	1/ 3	1780		29/10	2094	1942	16/ 5	1720
	8/ 5	3450	1930	24/ 5	2747		7/ 7	4380
	23/ 9	2526		26/ 6	2245			
1918	2/ 5	1752		15/ 9	1769			
	5/10	5480	1931	31/ 5	1902			
1919	1/ 7	2889		24/ 7	2406			
	1/ 8	3760	1932	5/ 6	2131			
	2/ 9	3095		14/ 8	2643			
	23/11	1557		6/10	1606			

TABLEAU 3.2

ESTIMATION de l'HYDROGRAMME UNITAIRE A PASO de los TOROS (1908-44)

DEBITS en m^3/s

N°	Date	-25	-20	-15	-10	-5	-2	Q_M	+2	+5	+10	+15	+20	+25	+30
1	9/08	0	82	295	1050	2690	3740	3800	3670	2590	688	328	98	0	
2	7/09	0	47	257	700	2825	3855	4250	3970	2265	584	210	23	0	
3	1/12				0	2750	3580	3900	3525	2785	1550	564	229	141	71
4	4/14				0	2335	3640	4135	3970	2970	734	433	267	150	67
6	9/19			0	1023	2785	3430	3545	3380	2740	905	428	167	60	36
7	4/21			0	437	2620	3390	3720	3525	2670	1365	273	82	55	0
8	7/21	0	57	342	1460	2690	3320	3450	3380	2730	645	266	76	0	
11	5/32		0	260	1135	2760	3850	4150	3760	2320	740	260	70	20	0
12	9/32			0	795	2590	3400	3570	3450	2850	1190	550	260	70	0
15	6/39		0	790	1640	2650	3360	3530	3240	2175	660	230	90	40	0
Hydrogramme moyen		0	19	194	824	2670	3557	3805	3587	2630	906	354	136	54	17
Hydrogramme choisi		0	15	180	860	2680	3580	3800	3560	2680	850	320	110	50	10

N.B. 1 - Q_M Débit maximal (m^3/s)

2 - Dans chaque colonne figurent les débits observés durant diverses journées de part et d'autre du maximum.

3 - Tous les débits sont calculés pour un volume écoulé de ...... 5.10^9 m^3.

NOTE ANNEXE N° 1 AU CHAPITRE III

METHODE DE CALCUL DE L'HYDROGRAMME SYNTHETIQUE ET SON APPLICATION AUX PRECIPITATIONS DE SEPTEMBRE ET OCTOBRE 1956 SUR LE BASSIN DU RIO NEGRO à BONETE

1°/- Trois phases pluvieuses se sont produites entre le 14 Septembre et le 8 Octobre 1956. Nous possèdons les relevés journaliers des précipitations aux 30 pluviomètres dans le bassin. Ces relevés figurent dans le tableau 3.3. Ils nous ont servi à tracer les courbes isohyètes pour la totalité de la période pluvieuse (P.3.4)

On obtient les résultats suivants :

- Précipitation moyenne : 388 mm
- Précipitation maximale : 545 mm
- Coefficient d'abattement : 71 %
- Volume de pluie tombée : 15,2 milliards de m^3

2°/- Le tracé des courbes isochrones pour le bassin du RIO NEGRO en amont de BONETE (le barrage existant) a été effectué en tenant compte à la fois du temps de concentration des crues unitaires et de la pente du terrain (P.3.5)

L'intervalle de temps séparant une courbe de la suivante est de une journée. Il y a 12 courbes délimitant 12 zones isochrones à partir de chacune desquelles les gouttes de pluie qui ruissellent mettent le même temps pour arriver à BONETE, par exemple :

- 1/2 journée à partir de la zone 0.1
- 1 journée 1/2 " " " " 1.2
- 4 journées 1/2 " " " " 4.5

etc...

../.

Les chiffres 0, 1, 2, 3 etc... indiquent les courbes isochrones depuis BONETE jusqu'aux extrêmités du bassin.

Les superficies des zones isochrones sont les suivantes :

Zones	S(km^2)	Zones	S(km^2)
0-1	6 700	6-7	3 600
1-2	3 500	7-8	3 700
2-3	4 100	8-9	2 600
3-4	4 300	9-10	2 400
4-5	4 150	10-11	1 200
5-6	3 450	11-12	200

Pour chaque jour de pluie, nous avons tracé les courbes isohyètes sur une carte du bassin où figuraient les courbes isochrones (par exemple le plan 3.5 pour la pluie du 3 Octobre)

Les précipitations moyennes journalières ont été calculées par planimétrage sur cette carte et pour chaque zone isochrone. Tous les résultats de ces calculs sont rassemblés dans le tableau 3.6

3°/- Le coefficient d'écoulement total de la crue observée dans le lac de BONETE est de 66 % (10 milliards de m3 d'écoulement, 15 milliards de m3 de précipitations, voir le p. 3.7)

Pour déterminer les coefficients -d'écoulement- journaliers, nous avons tenu compte de la saturation croissante des terrains à partir du 14 Septembre jusqu'au 8 Octobre ainsi que de l'influence due à l'importance de chaque précipitation journalière. Les valeurs de ces coefficients figurent dans le tableau ci-dessous :

Journées de Pluie	Ke %	Journées de pluie	Ke %
14/9	18	3/10	85
15	33	4	85
16	45	6	75
21	40	7	75
22	55		
23	70		

Avec ces données, il est alors possible de calculer les volumes écoulés arrivant journellement au lac de BONETE et cela pour chacune des zones isochrones sur lesquelles sont tombées des précipitations responsables de ces écoulements. Ces calculs s'effectuent en multipliant chaque valeur de précipitation moyenne journalière (extraite du tableau 3.6) par le coefficient d'écoulement journalier correspondant.

../.

Le volume d'écoulement obtenu est alors inscrit dans un tableau général comprenant 12 lignes (1 pour chaque zone isochrone) et autant de colonnes qu'il y a de jours de pluie depuis le 14 Septembre. Chaque valeur de volume écoulé est inscrite sur la ligne de la zone isochrone de laquelle elle provient et dans la colonne du jour où elle arrive à BONETE.

En additionnant les volumes de chaque colonne nous obtenons le volume écoulé journellement à BONETE, c'est-à-dire l'hydrogramme synthétique brut de la crue. Mais chaque volume écoulé en provenance d'une zone isochrone déterminée n'arrive pas réellement à BONETE en un seul jour, parce que ce volume subit en quelque sorte une modulation due à l'effet d'emmagasinement et de freinage dans le lit du fleuve. En fait ce volume se manifeste a BONETE sous la forme d'une courbe en cloche dissymétrique . Nous avons représenté cet effet d'emmagasinement et de freinage par des pourcentages journaliers de volume écoulé arrivant à BONETE à la fois pour le jour théorique où tout le volume aurait dû arriver s'il n'y avait pas cette modulation et pour les jours suivants.

Ces pourcentages sont en fait une représentation simplifiée de la courbe en cloche dissymétrique. Leurs valeurs dépendent à la fois de l'importance de la pluie responsable de l'écoulement et de la position de l'impact maximal de cette précipitation sur le bassin.

On trouvera ci-dessous le tableau des pourcentages choisis :

Journées de pluie	Jours d'Arrivée		
	Jour théorique		
	au 1er	2ème	3ème
14/9	60	30	10 %
15	"	"	"
16	"	"	"
21	40	50	10
22	60	30	10
23	40	50	10
3/10	85	15	-
4	60	30	10
6	40	50	10
7	40	50	10

../.

Chaque volume écoulé provenant d'une pluie journalière sur une zone isochrone donnée est multiplié par les pourcentages d'effets d'emmagasinement relatifs au même jour. On obtient ainsi deux ou trois valeurs de volume écoulé qui sont inscrites dans les colonnes relatives au jour théorique d'arrivée et aux jours suivants dans un tableau général ayant la même disposition que le tableau de calcul de l'hydrogramme brut.

On peut alors additionner les volumes de chaque colonne et obtenir les volumes réellement arrivés à BONETE chaque jour, c'est-à-dire l'hydrogramme synthétique définitif.

Cet hydrogramme est représenté sur le plan 3.8. La comparaison avec l'hydrogramme observé du plan 3.7 est des plus satisfaisantes. On aurait certainement pu arriver à une meilleure superposition des deux hydrogrammes si l'on n'avait pas rencontré de fortes difficultés pour calculer les débits journaliers de la crue réelle à partir des observations de niveau dans la retenue de BONETE.

PLUIES DE SEPTEMBRE ET OCTOBRE 1956

(en mm)

N° du Pluviomètre	SEPTEMBRE 14	15	16	21	22	23	OCTOBRE 3	4	6	7
1147	9	2	46	6	116	3	65	1	84	2
1195	14	24	5	20	39	65	18	82	37	53
1245	17	31	2	43	38	55	17	71	33	59
1279	10	20	19	50	40	60	50	55	60	45
1304	15	45	7	16	58	65	89	40	62	32
1333	6	64	28	72	42	96	96	49	39	53
1375	21	28		14	72	74	102	36	40	51
1379	13	20	19	76	33	70	79	30	49	39
1405	11	41		39	49	64	147	34	40	41
1440	9	19	6	24	71	48	126	32	27	30
1444	11	38	7	87	49	64	120	35	53	43
1454	15	34	9	65	30	69	52	36	31	29
1484	18	48	20	49	80	58	100	42	32	45
1523	14	48	17	48	54	41	123	36	27	39
1537	7	11	14	39	31	55	39	37	11	41
1558		35		18	119	37	160	69	44	29
1621	8	10		48	21	83	71	37	29	
1645	2	32	16	59	130	20	116	48	40	31
1653	14	53	13	23	100	40	153	37	57	20
1650		42	10	7	16	49	153	34	81	32
1657	10	30	17	54		56	80	24	40	30
1699	14	24	18	36	56	35	98	24	19	12
1734		36	16	2	118	19	97		36	32
1821	5	30	16	2	135	10	6	45	35	37
1826	5	23	12		104	17	80		25	12
1838	8	25	28	18	105	30	55	46	11	9
1918		20	15		78	14	155		26	26
1931	18	20		17	94	36	70	57	13	16
1977	4	16	11	4	68	35	57	44	10	6
2073	4	18	26		91	19	64	68	6	

COURBES ISOHYÈTES POUR LA PÉRIODE DU 14/9 AU 8/10 DE 1956

Pм = 545 mm

Pm = 388 mm

K = 71 %

PLUIE DU 3/10 de 1956

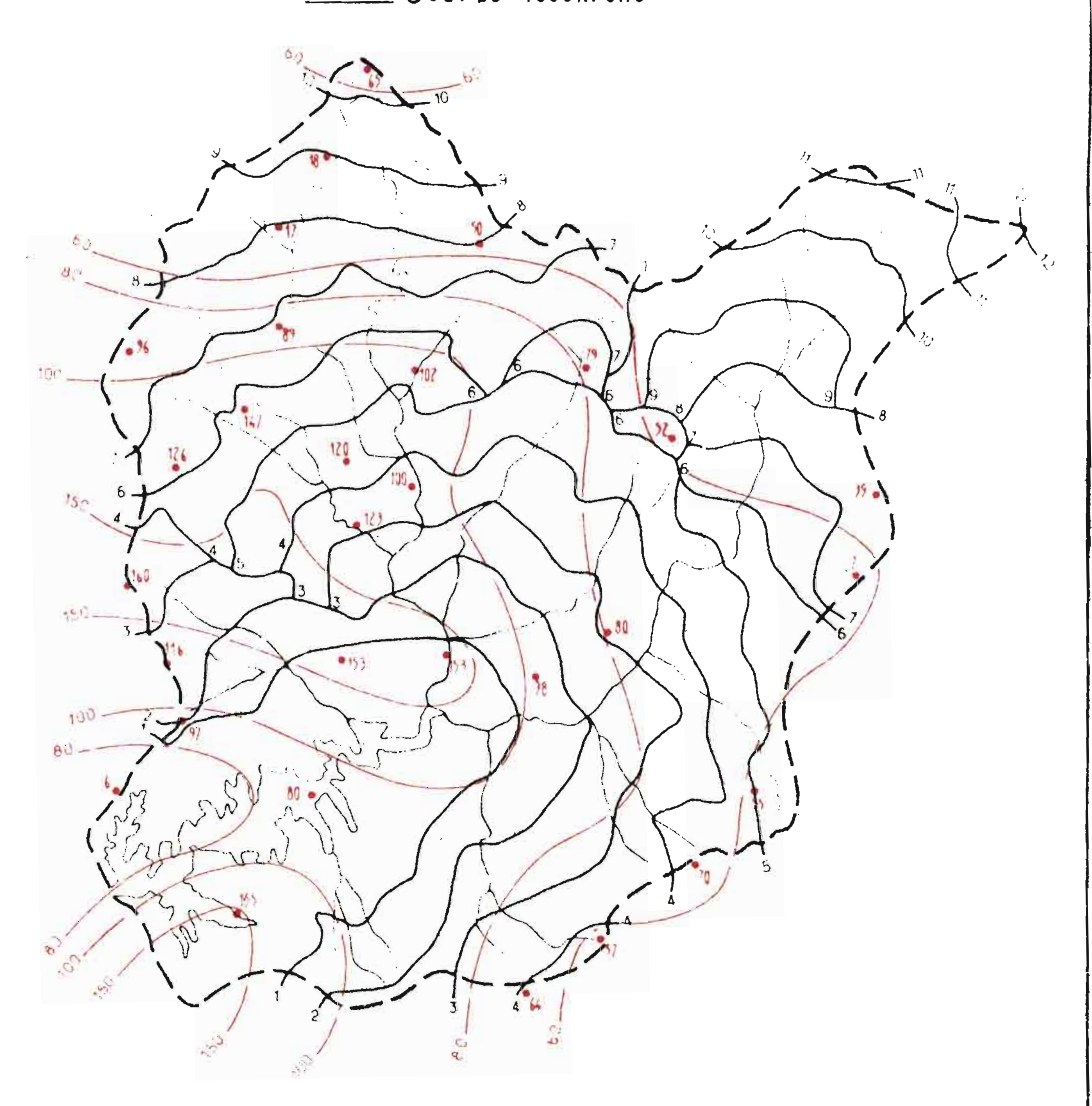
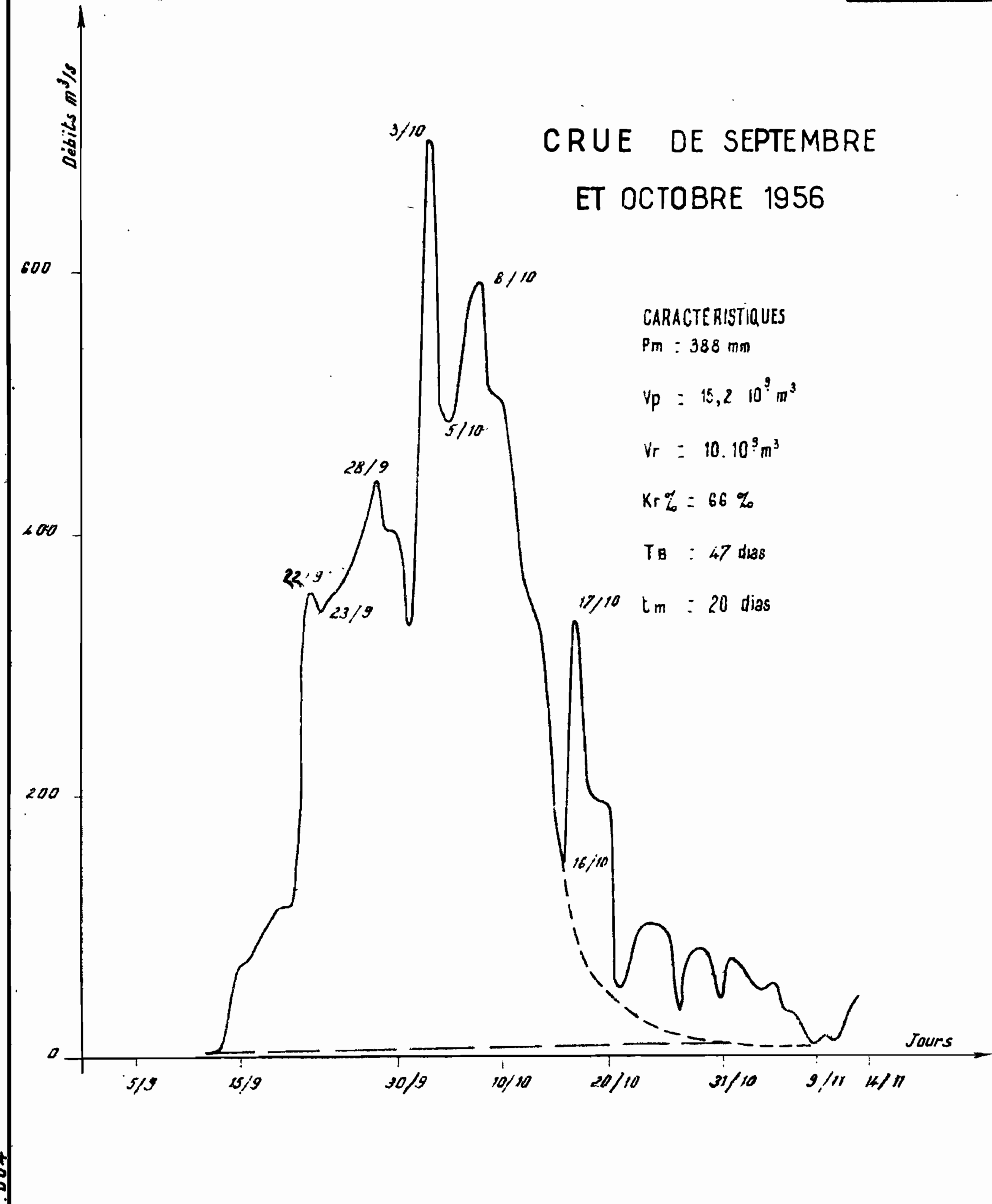


TABLEAU 3.6

PLUIES MOYENNES JOURNALIERES SUR LES ZONES ISOCHRONES
(en mm)

Jours	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12
14/ 9/56	6	9	10	10	13	12	12	10	10	10	8	7
15/ 9/56	28	30	30	30	30	30	30	30	20	15	10	10
16/ 9/56	15	16	15	15	15	13	12	13	14	15	20	20
21/ 9/56	10	17	30	35	54	40	45	49	50	50	55	55
22/ 9/56	103	90	85	74	60	55	43	40	35	39	58	30
23/ 9/56	20	33	40	44	59	64	69	65	60	50	45	40
3/10/56	109	115	103	90	90	100	90	35	30	30	30	30
4/10/56	27	30	35	40	35	35	35	44	45	30	15	15
6/10/56	35	30	30	30	35	40	44	30	35	35	45	30
7/10/56	20	20	30	29	30	35	40	45	45	45	35	35
Volume en 10^9 m^3	2,59	1,32	1,63	1,70	1,68	1,44	1,50	1,33	0,89	0,76	0,32	0,06



CRUE DE SEPTEMBRE
ET OCTOBRE 1956
Débits m³/s
600
400
200
0
3/10
8/10
5/10
28/9
22/9
23/9
17/10
16/10
CARACTERISTIQUES
Pm : 388 mm
Vp : 15,2 10⁹ m³
Vr : 10.10⁹ m³
Kr % : 66 %
TB : 47 dias
tm : 20 dias
Jours
5/9
15/9
30/9
10/10
20/10
31/10
9/11
14/11

ETR 291.004

HYDROGRAMME SYNTHETIQUE DE LA CRUE DE SEPTEMBRE ET OCTOBRE 1956

NOTE ANNEXE N° 2 AU CHAPITRE III

CALCUL DE L'HYDROGRAMME SYNTHETIQUE A PARTIR DES PLUIES DE SEPTEMBRE 1918 SUR LE BASSIN DU RIO NEGRO A BONETE.

---

a) - HYPOTHESE DES PLUIES SURVENANT SUR LE BASSIN AVEC RETENUE A BONETE -

Il est inutile de développer le mode de calcul qui est identique à celui exposé dans l'Annexe n° 1. On trouvera les divers éléments d'observation et de calcul dans les tableaux et plans suivants :

- P.3.9 - Les courbes isohyètes pour les précipitations du 11 au 29 Septembre 1918.
- T.3.10 - Les précipitations moyennes journalières sur chaque zone isochrone.
- P.3.11 - L'hydrogramme observé de la crue de 1918.
- T.3.12 - Les coefficients d'écoulement journalier et les pourcentages de modulation de l'hydrogramme brut dus aux effets d'emmagasinement.

L'hydrogramme synthétique est représenté sur le plan 3.13. On constate une très nette aggravation de la crue par rapport à celle qui avait été observée en 1918, aggravation vraisemblablement imputable à la présence de la retenue de BONETE.

../.

b) - <u>HYPOTHESE. DE PRECIPITATIONS SURVENANT DANS LE BASSIN SANS RETENUE A BONETE, C'EST-A-DIRE COMME EN 1918</u>.

L'absence de retenue à BONETE augmente la durée de parcours des gouttes d'eau de pluie depuis l'endroit où elles tombent jusqu'à l'exutoire. Nous obtenons en effet six nouvelles courbes isochrones qui occupent l'emplacement de la retenue de BONETE, alors qu'il n'y a qu'une seule courbe lorsque le barrage existe. Le tracé de ces courbes isochrones figurent sur le P. 3.14.

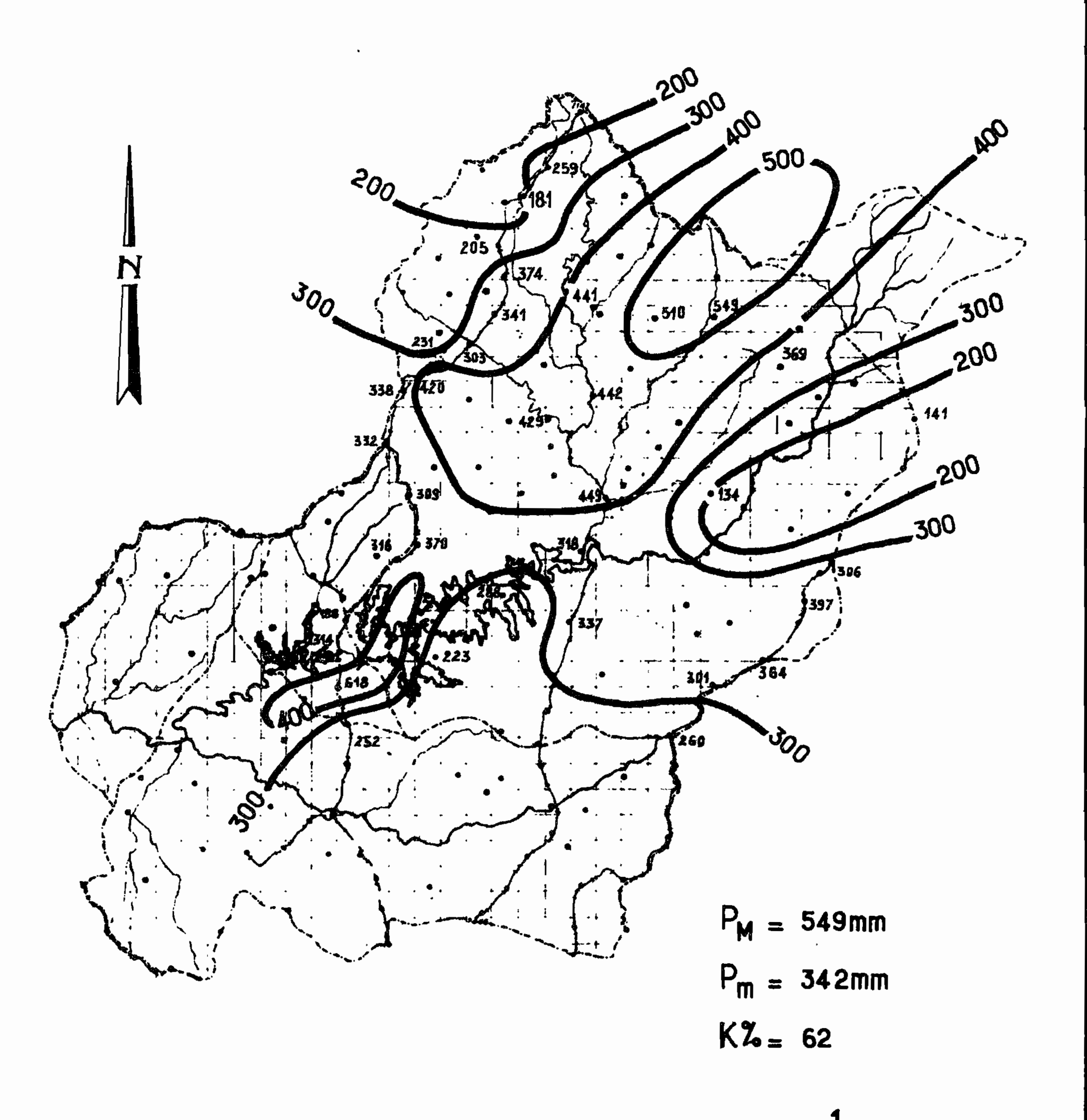
En conséquence, la durée de parcours augmente d'environ 6 jours pour la quasi-totalité du bassin. En effet, par exemple, le volume de pluie tombée sur la zone 0-1 (dans l'hypothèse de la retenue) n'arrive plus à BONETE en 1/2 journée, mais en 6 jours ce qui diminue énormément les débits journaliers.

Les zones isochrones qui étaient éloignées de BONETE dans l'hypothèse du barrage, c'est-à-dire les zones 4. 5. - 5.6. - etc.. restent les mêmes mais deviennent les zones 10.11 - 11.12 - etc.. leur numéro étant augmenté de six unités, c'est-à-dire de 6 jours de parcours.

On réédite, avec cette nouvelle hypothèse, le calcul complet de l'hydrogramme synthétique et on obtient une courbe très voisine de celle réellement observée en 1918 (P. 3.13).

-=-=-=-=-=-=-

ISOHYÈTES POUR LES PRÉCIPITATIONS DU 11 AU 29 SEPTEMBRE 1918



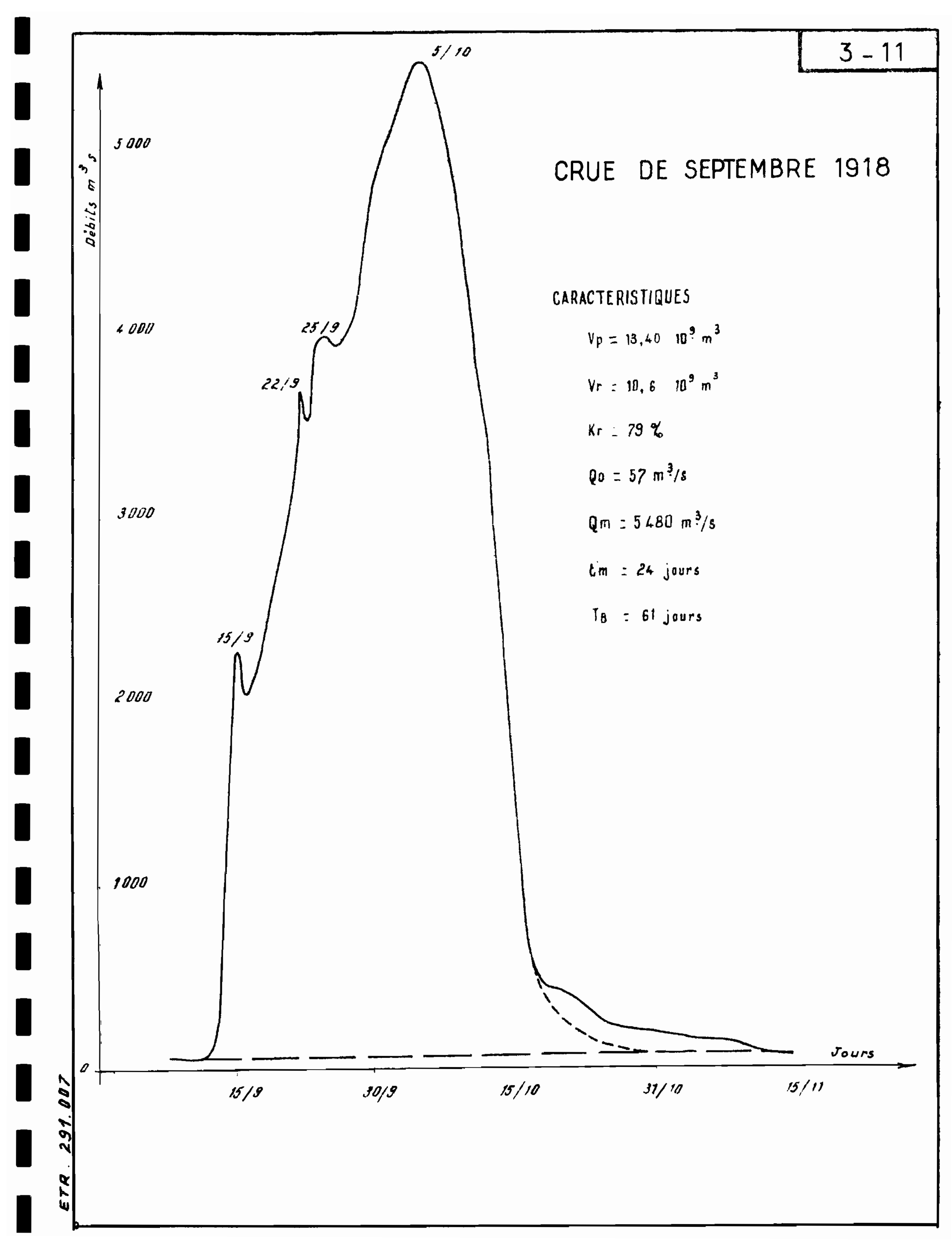
ECHELLE : $\frac{1}{2.300.000}$ *environ*

TABLEAU 3.10

PLUIES MOYENNES JOURNALIERES SUR LES ZONES ISOCHRONES

(mm)

Jours	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12
11/9/18	30	20	15	10	10	-	-	-	-	-	-	-
12/9/18	24	31	36	39	43	35	31	20	19	21	10	8
13/9/18	67	92	90	86	76	60	40	38	29	27	25	25
14/9/18	26	43	31	31	39	46	46	42	39	29	25	20
15/9/18	-	-	-	-	5	10	10	10	7	-	-	-
20/9/18	-	-	-	8	10	20	15	10	12	10	8	8
21/9/18	45	45	40	37	40	35	40	20	15	12	5	0
23/9/18	40	40	43	50	70	58	50	40	36	45	35	30
24/9/18	42	58	62	68	73	66	68	52	58	56	31	25
28/9/18	33	40	44	50	49	42	34	24	30	22	12	7
29/9/18	16	11	12	11	11	14	19	26	26	25	32	32
Volume en 10^9 m^3	2,13	1,29	1,49	1,68	1,70	1,31	1,27	1,04	0,70	0,59	0,18	0,03

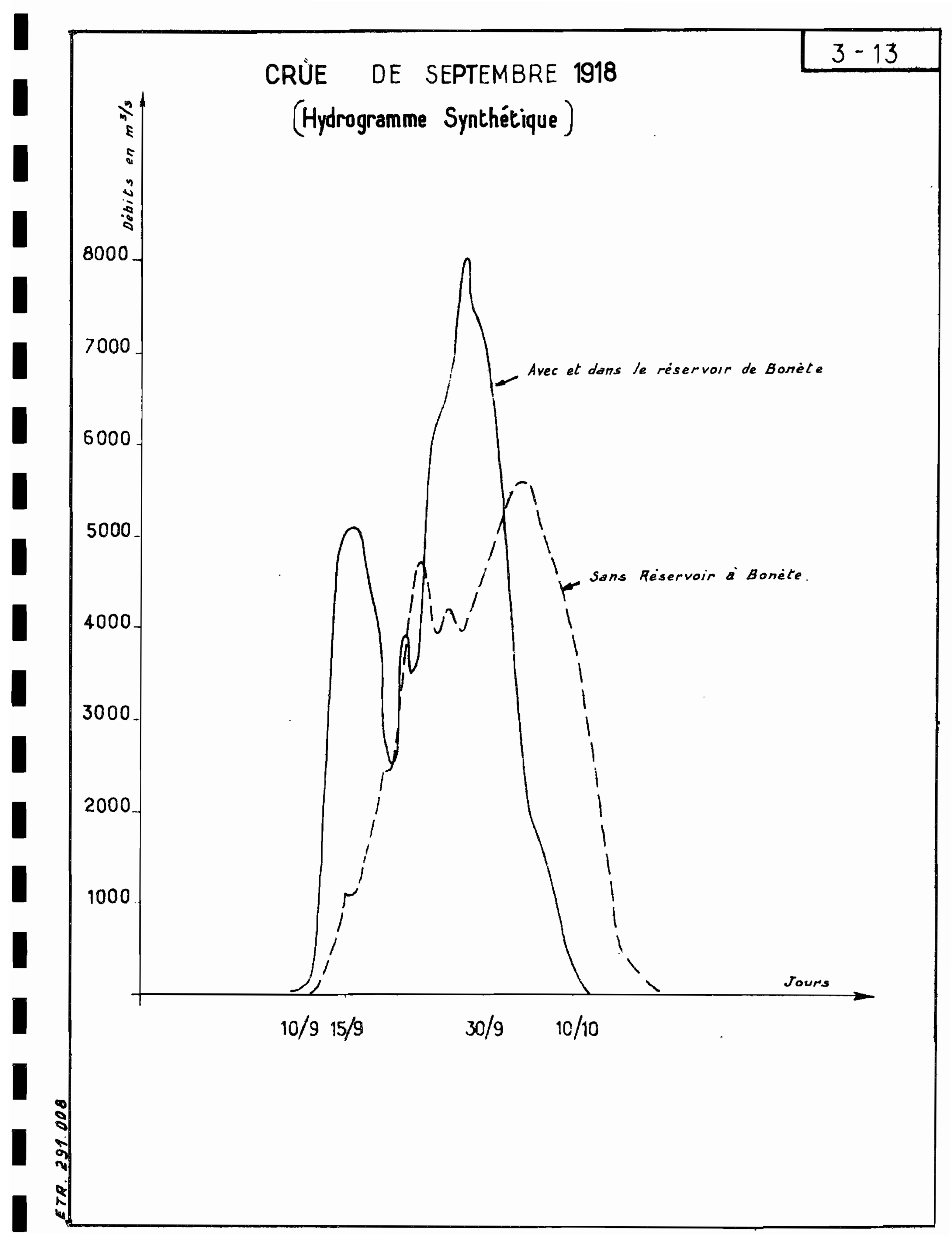

3 - 11
CRUE DE SEPTEMBRE 1918
CARACTERISTIQUES
Vp = 13,40 10⁹ m³
Vr = 10,6 10⁹ m³
Kr = 79 %
Qo = 57 m³/s
Qm = 5 480 m³/s
tm = 24 jours
TB = 61 jours
Débits m³/s
5 000
4 000
3000
2 000
1000
0
5/10
25/9
22/9
15/9
15/9
30/9
15/10
31/10
15/11
Jours
ETR. 291.007

COEFFICIENTS D'ECOULEMENT ET EFFET D'EMMAGASINEMENT

(en %)

Jour de Pluie	Ke % (1)	1r Jour	2° Jour	3° Jour
11/9	20 %	60	30	10
12/9	45 % ou 20 %	60	30	10
13/9	70 % ou 50 %	60	30	10
14/9	80 % ou 70 %	50	40	10
15/9	88 % ou 80 %	40	50	10
20/9	70 %	40	50	10
21/9	80 %	60	30	10
23/9	90 %	60	30	10
24/9	95 %	60	30	10
28/9	90 %	60	30	10
29/9	95 %	40	50	10

(1) La pluie du 11/9 n'a pas affecté tout le bassin, c'est pourquoi les Ke ont 2 valeurs pour les pluies du 11 au 15 selon les zones isochrones arrosées ou non le 11.



3 - 13
CRÜE DE SEPTEMBRE 1918
(Hydrogramme Synthétique)
Débits en m3/s
8000
7000
6000
5000
4000
3000
2000
1000
Avec et dans le réservoir de Bonète
Sans Réservoir à Bonète
Jours
10/9 15/9
30/9
10/10
ETR. 291.008

TRACÉ DES COURBES ISOCHRONES DANS L'HYPOTHÈSE D'UN BASSIN AVEC RÉSERVOIR A BONETE



- N.B -

Les chiffres indiquent les temps de parcours en jours depuis les courbes jusqu'à BONÈTE.

NOTE ANNEXE N° 3 AU CHAPITRE III

CALCUL DE L'HYDROGRAMME SYNTHETIQUE A PARTIR DES PLUIES DU 6 AU 16 AVRIL 1959

---

a) - AVEC RETENUE A BONETE (Conditions réelles)

Nous employons la méthode de calcul exposée dans l'annexe N° 1.

On trouvera les données d'observations et de calculs sur les plans et tableaux suivants :

P 3.15 - Courbes isohyètes pour la période du 6 au 16 Avril

T 3.16 - Précipitations moyennes journalières sur les zones isochrones.

T 3.17 - Coefficients d'écoulement journalier et pourcentages de modulation dûs à l'effet d'emmagasinement.

T 3.18 - Volumes écoulés arrivant journellement à BONETE pour chaque zone isochrone.

T 3.19 - Calcul de l'hydrogramme synthétique définitif

P 3.20 - Hydrogramme de la crue calculé par la U.T.E.

P 3.21 - Hydrogramme synthétique.

Remarquons que les pluies des 10, 11, 12 et 13 Avril ne sont connues que globalement;c'est pourquoi nous avons, pour le calcul, supposé que les précipitations journalières étaient égales entre elles pour ces quatre jours.

../.

Il en résulte évidemment une légère erreur dans le tracé de l'hydrogramme synthétique.

b) - SANS RETENUE A BONETE -

Nous utilisons les hypothèses faites dans l'Annexe 2, b - pour calculer la crue de 1918 et relatives au tracé des courbes isochrones.

Les pluies moyennes journalières ont été calculées pour les 18 zones isochrones. On leur a appliqué les mêmes coefficients d'écoulement et les mêmes pourcentages de modulation que pour la crue survenant avec retenue à BONETE.

On obtient ainsi l'hydrogramme synthétique de la crue qui serait survenue à BONETE s'il n'y avait pas eu de barrage (P 3.22) le débit maximal est de 12 800 m^3/s.

Nous avons calculé cette crue d'une autre façon à partir des hydrogrammes unitaires produits par chaque précipitation journalière et en effectuant leur sommation graphique.

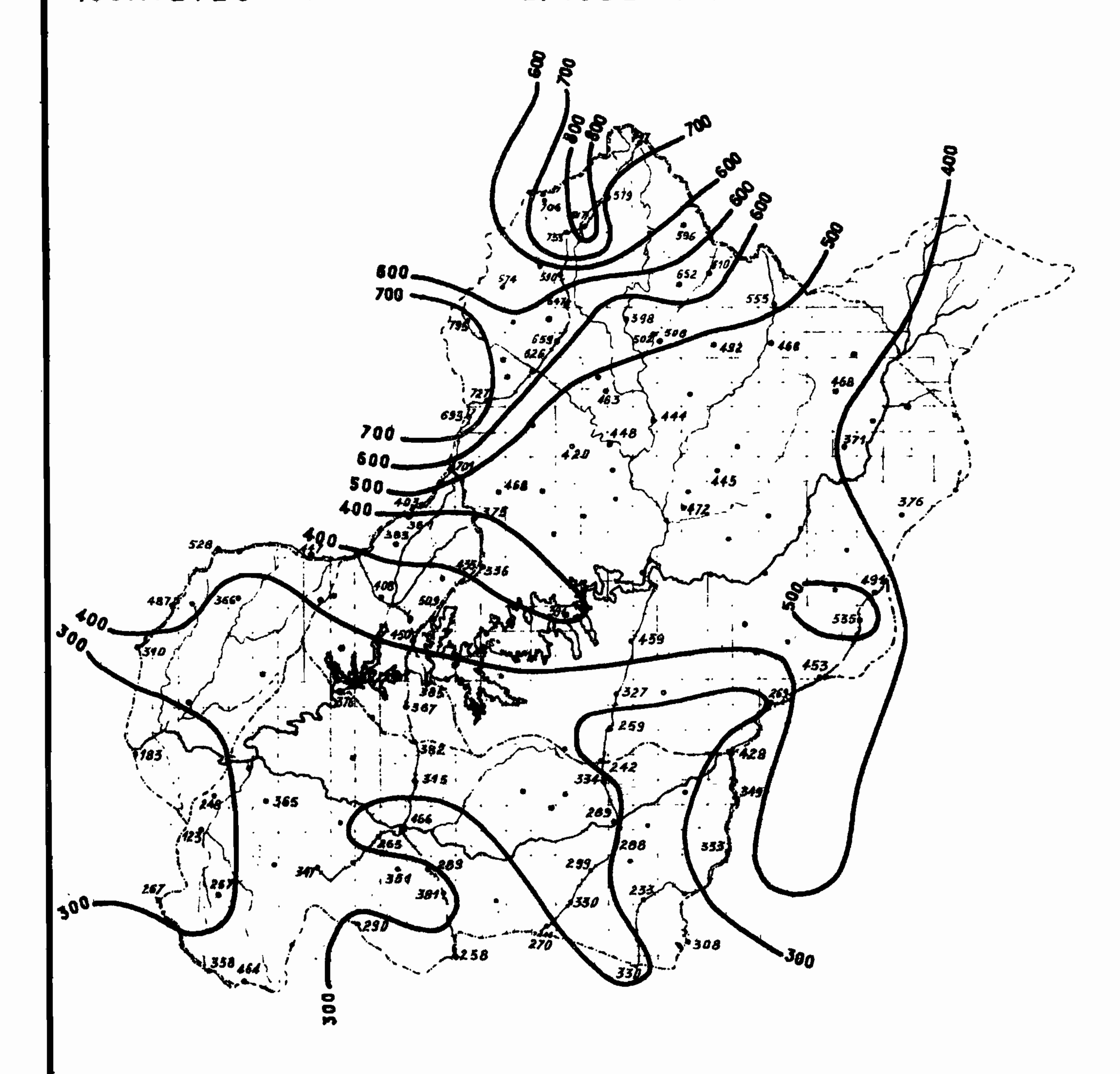
Les valeurs caractéristiques de l'hydrogramme unitaire du bassin à BONETE (sans retenue) ont été extraites du Tableau 3.2.

On a calculé les volumes écoulés pour chaque pluie à l'aide des coefficients d'écoulement journalier ce qui a permis, par affinité avec l'hydrogramme unitaire moyen de 5 milliards de m^3 d'écoulement, de tracer les divers hydrogrammes unitaires journaliers.

La courbe représentative de la crue d'avril 1959 dans l'hypothèse de l'absence de la retenue, calculée à partir de ces hydrogrammes unitaires, figure aussi sur le Plan 3.22.

Le débit maximal n'est que de 10 200 m^3/s.

ISOHYÈTES POUR LA PÉRIODE 6-16 AVRIL 1959



ÉCHELLE : $\frac{1}{2.300.000}$ *environ*

TABLEAU 3.16

CRUE de 1959

PLUIES MOYENNES JOURNALIERES SUR LES ZONES ISOCHRONES

(mm)

Jours	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12
6/4	45	42	40	35	30	27	20	15	15	15	15	10
7/4	58	70	74	75	75	65	55	43	56	25	15	15
8/4	42	35	32	35	50	60	101	116	96	100	80	70
9/4	7	15	17	23	26	32	42	43	27	30	30	30
10-13/4	140	120	110	95	95	75	65	90	80	55	45	50
14/4	64	81	86	90	96	110	117	130	143	112	80	70
15/4	57	45	61	87	105	120	120	160	150	150	160	160

TABLEAU 3.17

COEFFICIENTS D'ECOULEMENT ET EFFET D'EMMAGASINEMENT
(en %)

Jours de Pluie	Ke %	1r Jour	2° Jour	3° Jour
6/4	20	60	30	10
7	50	60	30	10
8	75	30	50	20
9	75	40	50	10
10	80	50	40	10
11	80	50	40	10
12	85	50	40	10
13	85	50	40	10
14	95	60	30	10
15	98	50	40	10

VOLUME ECOULE A BONETE ($10^6 m^3$) CRUE DE 1959

Zones ↓ / Jours	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
0 - 1	60,4	194,5	211,0	35,3	18,7	18,7	19,9	19,9	407,0	375,0											
1 - 2		29,4	122,5	92,0	39,4	84,0	84,0	89,3	89,3	270,0	754,5										
2 - 3			32,8	152,0	98,2	52,9	90,3	90,3	96,0	96.0	336,0	245,0									
3 - 4				303	161,5	113,0	74,3	81,9	81,9	86,7	86,7	368,0	367,0								
4 - 5					24,9	155,3	156,0	81,0	78,8	78,8	83,7	83,7	378,0	428,0							
5 - 6						18,6	112,0	155,5	32,5	51,6	51,6	54,8	54,8	362,0	406,0						
6 - 7							14,4	99,0	280,0	113,0	46,8	46.8	49,7	49,7	400,0	424,0					
7 - 8								71,1	79,5	323,0	119,0	66,8	66,8	71,0	71,0	458,0	581,0				
8 - 9									7,8	72,7	187,5	52.5	41,5	41,5	44,2	44,2	353,0	383,0			
9 - 10										7,2	30,0	180,0	54,0	26,4	26,4	28,0	28,0	256,0	353,0		
10 - 11											3,6	9,0	72,0	27.0	10,8	10,8	11,5	11,5	91,5	198,0	
11 - 12												0,4	1,5	10,5	4,5	2,0	2,0	2,1	2,7	13,3	31,4
Vol. $10^6 m^3$	60,4	223.9	336,3	303,4	342,7	423,7	550,9	627,6	1202,4	1474,0	1899,4	1107,0	1085,3	1016,1	962,9	967,0	975,5	652,6	446,6	201,3	31,4

HYDROGRAMME CALCULE A PARTIR DES PLUIES

POUR LA CRUE D'AVRIL 1959 A BONETE

Jours → / Zones ↓	6/4	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
0-1	36,2	18.1 116.8	6.1 58.4 63,3	14.1 19,4 105,5	17,7 42,2 9,3	3,5 9.3 7,5	7,5 10,0 1,9	10,0 1,9 8,0	8,0 1,9 244,2	1.9 187,5 122.1	150,0 40,7	37,5											
1-2		17.6	8.8 73.5	2.9 37,8 27,6	15,8 12,2 46,0	19,7 18,4 42,0	3,9 42,0 33,8	33,6 44,7 8,4	44,7 8,4 35,7	35,7 8,9 162,0	8,9 72,8 81,0	61,8 27,0	15,5										
2-3			19.6	9.8 91,2	3,3 45,6 29.5	21,0 9,2 49.1	26,2 19,6 45,7	5,3 45,1 36,7	36,1 48,0 9,0	48,0 9,0 38,4	38,4 9,6 202,0	9,6 122,3 101,8	98.0 33,6	24,5									
3-4				18,1	9,0 97,0	3,0 48,5 33.9	29,7 16,1 56,3	97,1 22,6 40,7	7,4 40,7 32,6	32,6 43,3 8,2	43,3 8,2 34,7	34,7 8,7 221,0	8,7 189,5 110,5	146,8 36,8	36,7								
4-5					14,9	7,5 93,2	2,5 46,6 46.8	32,4 15,7 78,0	40.5 31,2 39,4	8,1 39.4 31,5	31,5 41,8 7,9	41,8 7,9 33,5	33.5 8,4 227,0	8,4 214,0 113,5	171,2 37,8	42,8							
5-6						11,2	5,6 67,2	1,8 33,6 46,6	33,0 11,2 77,8	41.2 31,1 25,8	8,3 25,8 20,6	20,6 21,4 5.2	27,4 5,2 21,9	21,9 5,5 217,0	5,5 203,0 108,5	162,4 36,2	40,6						
6-7							8,6	4,3 59,4	1,5 29,7 84,0	45,2 9,9 140,0	56,5 56,0 23,4	11,3 23,4 19,7	18,7 24,8 4,7	24,8 4,7 19,9	19,9 5,0 240,0	5,0 212,0 120,0	169,6 40,0	42,4					
7-8								6,7	3,3 47,7	1,1 23,8 96,9	47,6 8,0 161,5	59,5 64,6 33,4	71,9 33,4 26,7	26,7 35,5 6,7	35,5 6,7 28,4	28,4 7,1 275,0	7,1 290,5 137,5	232,4 45,8	58,1				
8-9									4,8	2,4 43,6	0,8 21,8 56,2	21,0 7,3 33,8	26,2 37,5 20,7	5,3 20,7 16,6	16,6 22,1 4,2	22,1 4,2 17,7	17,7 4,4 212,0	4,4 191,5 106,0	153,2 35,3	38,3			
9-10										4,3	2,1 18,0	0,7 9,0 54,0	21,6 3,0 90,0	27,0 36,0 13,2	5,4 13,2 10,5	10,5 14,0 2,6	14,0 2,6 11,2	11,2 2,8 153,6	2,8 177,5 76,8	141,2 25,6	35,3		
10-11											2,2	1,1 5,4	0,3 2,7 21,6	10,8 0,9 36,0	13,5 14,4 5,4	2,7 5,4 4,3	4,3 3,7 7,7	3,7 1,1 4,6	4,6 1,2 54,8	1,2 94,0 27,4	75,2 9,2	18,8	
11-12												0,2	0,1 0,9	0,4 3,2	1,8 0,2 5,2	7,0 2,2 2,7	0,8 0,5 1,0	0,2 1,1 0,8	0,8 0,2 1,1	8,0 0,2 0,8	4,0 15,7 0,2	1,3 72,6	3,1
Volume $10^6 m^3$	36,2	152,3	229,7	326,4	342,5	377,0	469,4	572,0	920,8	1241,9	1279,6	1133,5	1118,0	1076,8	1010,7	977,7	960,6	803,6	560,4	336,7	139,6	32,7	3,1
Débit m^3/s	420	1765	2660	3780	3970	4360	5430	6620	10 650	14 400	14 800	13380	12900	12450	11700	11300	11 100	9300	6500	3900	1620	380	37

CRUE D'AVRIL 1959

(DÉBITS D'APRÈS PLAN : UTE 5950 B)

Débits en m³/s

15 000

10 000

5 000

0

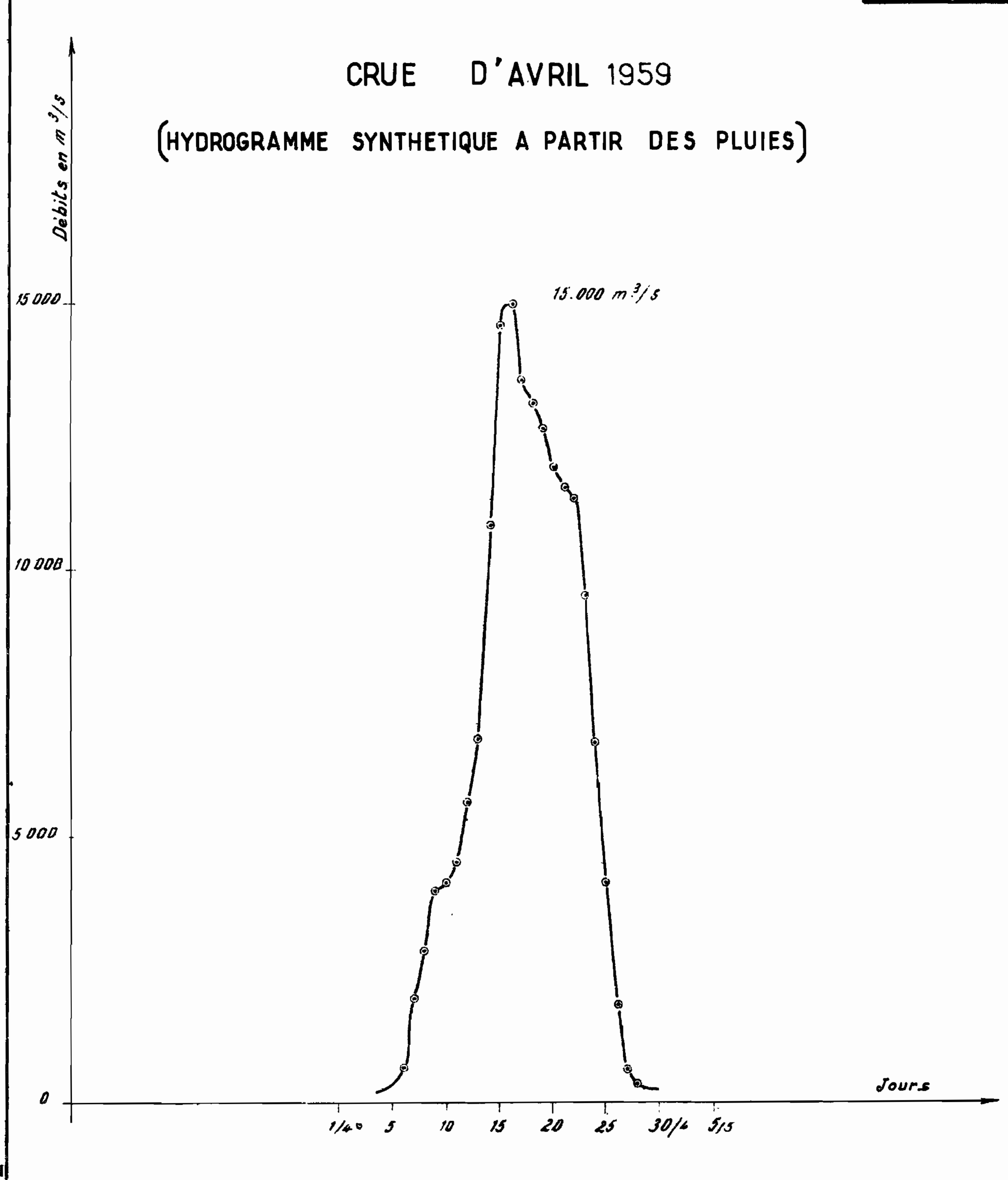
Vr = 14,1 . 10^9 m^3

Vp = 18,65 10^9 m^3

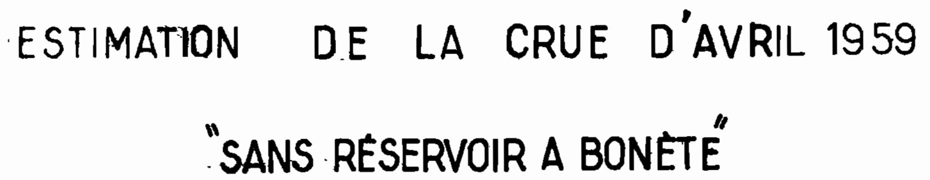
Ke = 76 %

Jours

1/4 5/4 10 15 20 25 30/4 5/5


CRUE D'AVRIL 1959
(HYDROGRAMME SYNTHETIQUE A PARTIR DES PLUIES)
Débits en m³/s
15 000
10 000
5 000
0
15.000 m³/s
Jours
1/4
5
10
15
20
25
30/4
5/5

ETR. 291.012



Débits · m³/s

15 000

12 800

10 200

10 000

Par la méthode de l'hydrogramme Synthétique

Par la méthode de l'hydrogramme unitaire

5 000

0

Jours

1/4 5 10 15 20 25 30 5/5 10 15

ETR. 291.013

NOTE ANNEXE N° 4 AU CHAPITRE III

ETUDE DES PRECIPITATIONS EN URUGUAY

SELON LA METHODE "INTENSITES-DUREES-SURFACES"

Nous avons employé une excellente documentation qui nous a été fournie par le Service Météorologique de l'URUGUAY.

Du sein de cette documentation, nous avons choisi la période qui commence en 1914 et qui s'achève en 1960, parce qu'il fallait attendre à peu près 1914 pour avoir une densité suffisante du réseau pluviométrique.

En effet, il s'agissait pour nous de pouvoir disposer d'une densité assez régulière de pluviomètres, afin de diviser le territoire de l'URUGUAY en un certain nombre de superficies de quelques milliers de km^2 au sein de chacune desquelles on puisse trouver un pluviomètre valable.

Ce quadrillage a été réalisé en prenant comme base la superficie de 3 300 km^2; nous avons obtenu 55 zones d'aires semblables.

A l'intérieur de chacune de ces zones, nous avons choisi la meilleure station pluviométrique observée depuis 1914 c'est-à-dire celle où il y avait le moins de lacunes. On trouvera la liste de ces stations sur le tableau 3.23.

L'analyse selon la méthode classique des "intensités-durées-surfaces" a été entreprise pour des hauteurs de précipitations totales tombées durant des périodes de 10 et de 30 jours.

Nous avons employé le processus suivant :

1°/- Pour toutes les stations, recherche des décades durant lesquelles il est tombé plus de 100 mm.

../.

Cette valeur constitue une limite inférieure des précipitations importantes, limite suffisamment basse cependant pour que l'échantillonnage, que nous allons relever, soit assez grand.

2°/- A partir de ce premier répertoire des pluies de plus de 100 mm à chaque station, nous dressons un second répertoire dans lequel, pour chaque décade très pluvieuse de la période d'observations est inscrite la liste de tous les pluviomètres ayant reçu plus de 100 mm en 10 jours.

3°/- A partir de ce second répertoire et à l'aide de la carte de l'URUGUAY sur laquelle figure le quadrillage des superficies de base et la position des pluviomètres de référence, nous avons déterminé pour chaque décade pluvieuse le nombre de stations voisines intéressées par la précipitation. Nous obtenons ainsi un troisième répertoire dans lequel le nombre de stations voisines indiquées pour une certaine décade représente la superficie couverte par la pluie de 10 jours considérés et ayant reçu plus de 100 mm.

4°/- On compte dans ce troisième répertoire combien de fois ont été observées des pluies de 10 jours supérieures à 100 mm et intéressant une superficie donnée, c'est-à-dire 3300 - 6600 - etc.. (soit n fois 3 300 km^2)

Le classement et l'étude statistique de ces résultats permettent de connaître les fréquences d'apparition de chaque phénomène (pluies de 10 jours sur une certaine surface) On trouvera un exemple des calculs statistiques dans le tableau 3.24.

Ce travail, pour des précipitations de 10 jours supérieures à 100 mm a été poursuivi pour des hauteurs de 150 - 200 - 250 et 300 mm.

On peut de la sorte tracer un faisceau de courbes représentant pour une pluie de 10 jours de hauteur donnée, la récurrence (c'est-à-dire l'inverse de la fréquence) en fonction de la superficie intéressée par le phénomène pluvieux (P. 3.25)

Un travail semblable a été entrepris pour les précipitations mensuelles supérieures à 200, puis 250 - 300 - 350 - 400 et 450 mm. Les courbes "fréquences-surfaces" de ce phénomène de 30 jours figurent sur le plan 3.26.

Le but pratique de cette étude était d'estimer la fréquence du phénomène pluvieux d'avril 1959 sur les bassins du RIO NEGRO et du RIO YI.

Pour ces deux bassins considérés, nous devons prendre non pas leur aire exacte, mais une aire augmentée de 50 % pour tenir compte du fait qu'une précipitation de fréquence donnée qui couvre une surface S, ne tombe pas obligatoirement sur un seul bassin ayant la surface S. En conséquence pour le RIO NEGRO à BONETE et le RIO YI nous avons pris les superficies de 58 650 et 20 625 km^2.

Pour de telles surfaces, nous avons extrait des Plans 3.25 et 3.26 les récurrences de précipitations de 10 jours et de 30 jours ayant atteint les diverses hauteurs étudiées. Le résultat figure sur le graphique semi-logarithmique 3.27 sous la forme de lignes droites. Nous y lisons par exemple les hauteurs de précipitations de fréquence centenaire suivantes :

- 240 mm en 10 jours pour le bassin de BONETE
- 280 mm en 10 jours pour le bassin de YI
- 420 mm en 30 jours pour le bassin de BONETE
- 470 mm en 30 jours pour le bassin de YI.

Pour des fréquences plus rares le graphique perd de sa précision et peut simplement donner une idée de l'ordre de grandeur des précipitations possibles.

-=-=-=-=-=-

STATIONS CONSIDEREES

1019	Yacaré (Bbé. Rivera)	1909	Las Flores
1040	T. Gomensoro	1931	Tupambaé
1086	Ricardiño	1983	Cuchilla de Dionisio
1092	Baltasar Brum	1996	Nuevo Berlin
1105	Belén	2035	Vergara
1147	Rivera	2061	Molles
1159	Sequeira	2073	Cerro Chato
1215	Mataojito	2154	Marincho
1232	Valentín	2215	Sarandí del Yí
1294	Paso Potrero	2240	Bizcocho
1374	Minas de Corrales	2272	Corrales (José P. Varela)
1379	Moirones	2357	Mansavillagra
1386	Chapicuy	2395	Sarandí Grande
1405	Tacuarembó	2422	Chuy
1454	Vichadero	2425	Agraciada
1523	Paso de los Novillos	2457	Pirarajá
1537	Aceguá	2481	Cardona
1543	Queguay	2583	Florida
1553	Queguay Chico	2680	Santa Lucía
1558	Piedra Sola	2698	Estanzuela
1674	Porvenir	2707	San José
1680 A	Guichón	2714	San Ramón
1734	Achar	2770	19 de Abril
1751	Bañados de Medina	2792	Migues
1766	Paso de la Cruz	2832	Garzón
1772	Cuchilla de Navarro	2879	San Carlos
1798	Ao. Malo	2887	Prado
1826	San Gregorio		

TABLEAU 3.24

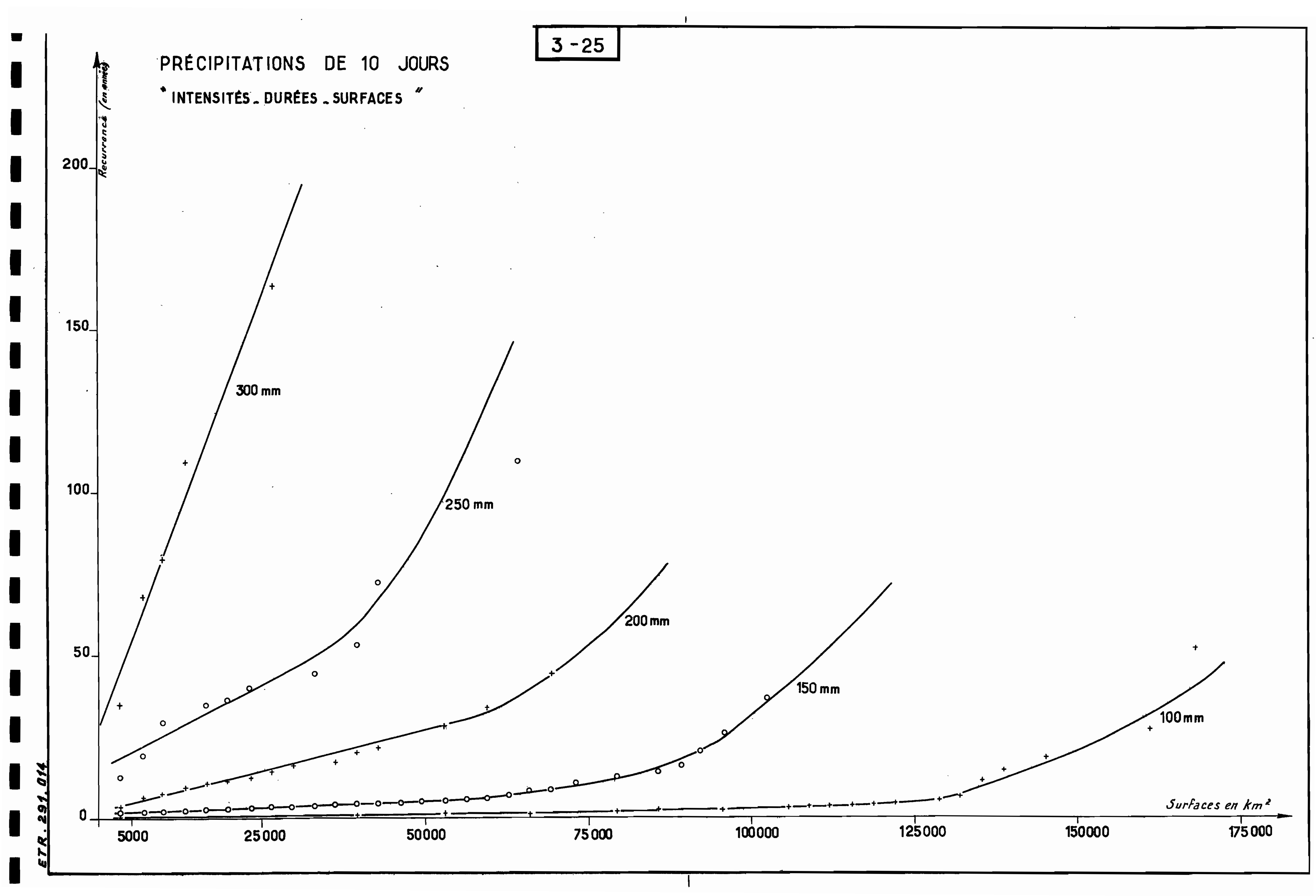
PRECIPITATIONS SUPERIEURES a 150 mm DURANT 10 JOURS

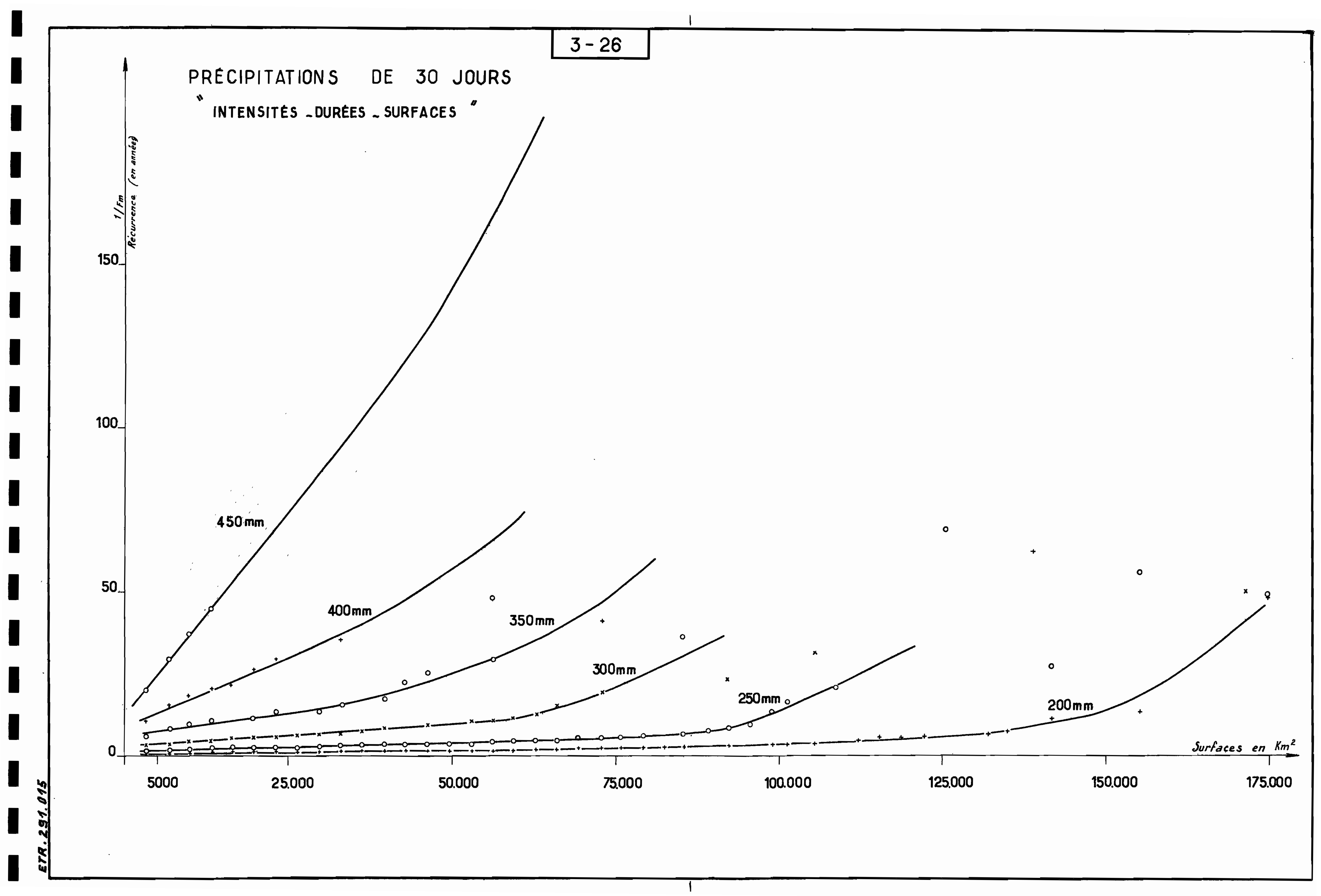
Nombre de stations	Nombre de Pluie	Surfaces	Nombre de surfaces	Surfaces Années	Nombre de stations - surfaces	Fréquence - surface	Récurrence en années
1	419	3 300	56	2632	1779	1779,0	1,48
2	93	6 600	28	1316	1360	680,0	1,94
3	38	9 900	18,66	877	1174	391,3	2,24
4	17	13 200	14	658	1060	265,0	2,48
5	23	16 500	11,2	526,4	992	198,4	2,65
6	10	19 800	9,33	438,5	877	146,2	3,00
7	7	23 100	8	376	817	116,7	3,22
8	4	26 400	7	329	768	96,0	3,43
9	6	29 700	6,22	292,3	736	81,8	3,57
10	3	33 000	5,60	263,2	682	68,2	3,86
11	3	36 300	5,1	239,7	652	59,3	4,04
12	3	39 600	4,66	219	619	51,6	4,24
13	2	42 900	4,3	202,1	583	44,8	4,51
14	3	46 200	4	188	557	39,8	4,72
15	3	49 500	3,73	175,3	515	34,3	5,11
16	1	52 800	3,5	164,5	470	29,4	5,60
17	4	56 100	3,3	155,1	454	26,7	5,81
18	2	59 400	3,11	146,2	386	21,4	6,83
19	2	62 700	2,94	138,2	350	18,4	7,51
20	1	66 000	2,8	131,6	312	15,6	8,44
21	2	69 300	2,66	125	292	13,9	8,99
22	2	72 600	2,54	119,4	250	11,4	10,45
23		75 900	2,43	114,2			
24	1	79 200	2,33	109,5	206	8,6	12,73
25		82 500	2,24	105,3			

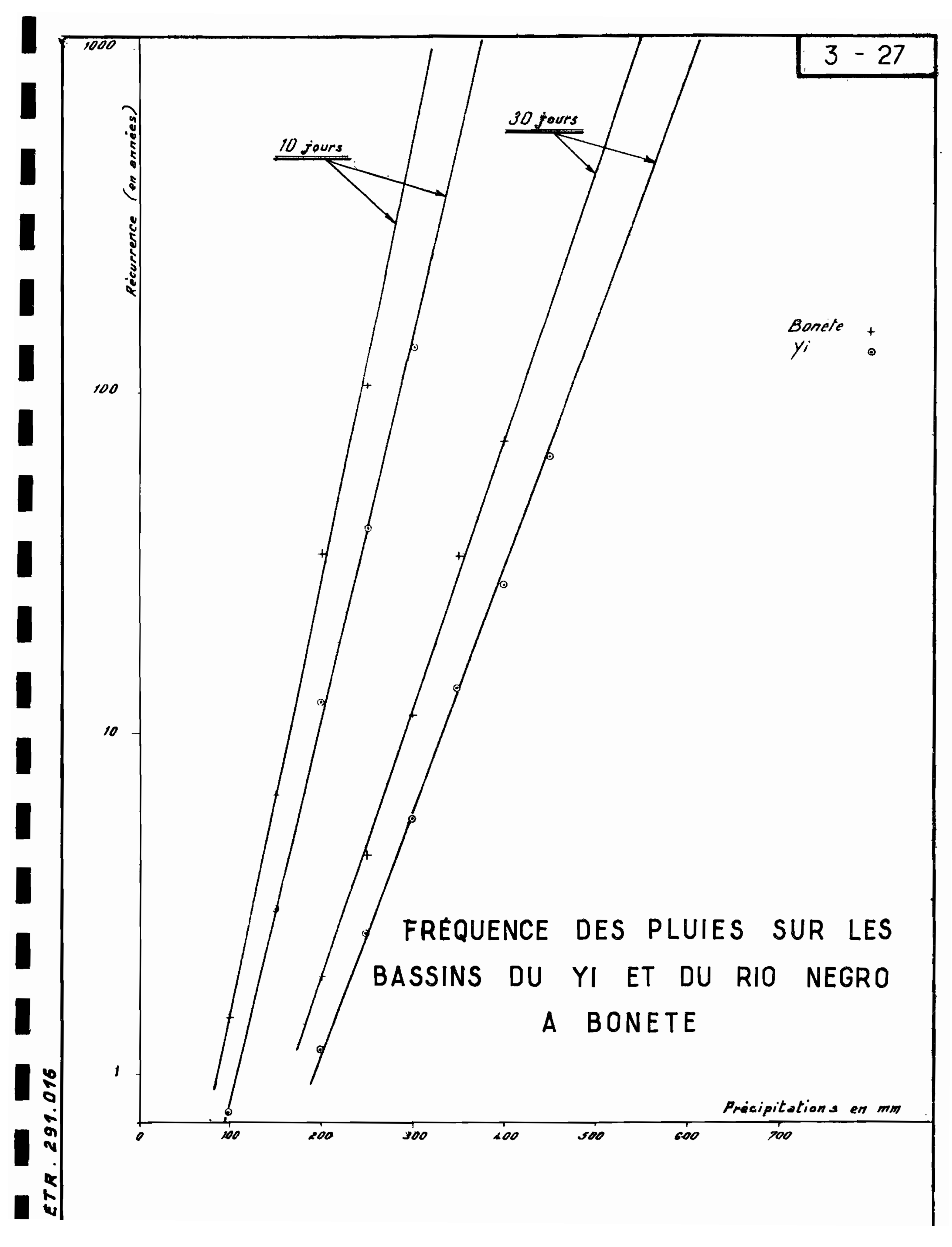
TABLEAU 3.24
(suite)

PRECIPITATIONS SUPERIEURES a 150 mm DURANT 10 JOURS

Nombre de stations	Nombre de Pluie	Surfaces km2	Nombre de surfaces	Surfaces Années	Nombre de stations - surfaces	Fréquence - surface	Récurrence en années
26	1	85 800	2,15	101,1	182	7,0	14,44
27	1	89 100	2,07	97,3	156	5,8	16,78
28	1	92 400	2	94	129	4,6	20,43
29	1	95 700	1,93	90,7	101	3,5	25,91
30		99 000	1,86	87,4			
31	1	102 300	1,8	84,6	72	2,3	36,78
32		105 600	1,75	82,3			
33		108 900	1,7	79,9			
34		112 200	1,64	77,1			
35		115 500	1,6	75,2			
36		118 800	1,55	72,9			
37		122 100	1,51	71			
38		125 400	1,47	69,1			
39		128 700	1,43	67,2			
40		132 000	1,40	65,8			
41	1	135 300	1,36	63,9	41	1	63,9


3 - 25
PRÉCIPITATIONS DE 10 JOURS
" INTENSITÉS - DURÉES - SURFACES "
Recurrence (en années)
200
150
100
50
0
300 mm
250 mm
200 mm
150 mm
100 mm
Surfaces en km²
5000
25000
50000
75000
100000
125000
150000
175000
ETR. 291.014


3 - 26
PRÉCIPITATIONS DE 30 JOURS
" INTENSITÉS - DURÉES - SURFACES "
1/Fm
Récurrence (en années)
150
100
50
0
450mm
400mm
350mm
300mm
250mm
200mm
Surfaces en Km²
5000
25.000
50.000
75.000
100.000
125.000
150.000
175.000
ETR. 291.015


1000
100
10
1
Récurrence (en années)
10 jours
30 jours
Bonete +
Yi ⊙
0
100
200
300
400
500
600
700
Précipitations en mm
FRÉQUENCE DES PLUIES SUR LES BASSINS DU YI ET DU RIO NEGRO A BONETE
ETR. 291.016

NOTE ANNEXE N° 5 AU CHAPITRE III

ESTIMATION DE LA CRUE MAXIMALE A BONETE

1°/- VARIANTE A -

Nous continuons à employer la méthode de l'hydrogramme synthétique calculé à partir des précipitations.

Nous considérons un phénomène pluvieux identique à celui d'Avril 1959 (voir Annexe 3) pour les 3 points suivants :

- Réseau d'isohyètes
- Hauteurs moyennes de précipitations journalières sur les zones isochrones
- Effets d'emmagasinement

Les nouvelles hypothèses s'appliquent aux dates des précipitations journalières et aux coefficients d'écoulement.

L'ordre suivant lequel surviennent les précipitations journalières observées en 1959 est modifié comme indiqué dans le tableau ci-dessous.

Ordre des jours de pluie	Date des précipitations journalières de 1959	Coefficients d'écoulement
1	6 Avril	30 %
2	7	60
3	8	80
4	9	80
5	14	92
6	15	96
7	10	98
8	11	98
9	12	98
10	13	98

../.

Le calcul, maintenant classique, nous conduit à un hydrogramme synthétique auquel nous devons ajouter un débit de base qui passera de 300 m^3/s en début de crue à 600 m^3/s à la fin.

On obtient ainsi l'hydrogramme définitif de la variante A de la crue maximale dont les débits moyens journaliers figurent dans le tableau 3.28 et les volumes écoulés arrivant dans la retenue de BONETE dans le tableau 3.29

2°/- VARIANTE B -

L'ordre suivant lequel se produisent les précipitations journalières, admis dans la variante A, est conservé. On y ajoute une seconde hypothèse selon laquelle les phases pluvieuses des 8 et 9 Avril d'une part, et des 14 et 15 Avril d'autre part, ont une répartition spatiale différente sur le bassin : la première phase intéressera le Nord, et la seconde phase la zone proche de BONETE.

Cette modification conduit à un nouveau tracé des isohyètes journalières et à de nouvelles valeurs des pluies moyennes journalières pour les différentes zones isochrones (T 3.30) Les coefficients d'écoulement ne changent pas, mais évidemment la modulation due à l'effet d'emmagasinement est, elle, modifiée comme on le voit dans le Tableau suivant :

Jours de pluie	1er Jour	2ème Jour	3ème Jour
6	40	50	10 %
7	40	50	10
8	30	50	20
9	40	50	10
14	80	20	-
15	80	20	-
10	50	40	10
11	50	40	10
12	50	40	10
13	50	40	10

On ajoute à l'hydrogramme synthétique calculé un débit de base identique à celui pris en considération pour la variante A. Les débits moyens journaliers et les volumes d'écoulement accumulés figurent dans les tableaux 3.28 et 3.29.

../.

3°/- VARIANTES A' et B' -

Leur calcul est identique à celui des variantes A et B auxquelles est simplement appliqué un coefficient de majoration de 20 %. On trouvera dans les tableaux 3.28 et 3.29 les débits et les volumes accumulés pour ces deux variantes.

4°/- DEVERSEMENT EN AVAL DE BONETE (Paragraphe 1.6 du Chapitre 3)

Pour estimer le déversement le plus dangereux que l'on serait amené à produire à BONETE, nous avons calculé la crue maximale sur le bassin durant une période de 60 jours, en supposant que surviennent successivement, la crue exceptionnelle selon l'une des variantes précédentes, et une crue d'importance moyenne, séparée de la précédente par quelques écoulements secondaires.

On trouvera sur les plans 3.31 à 3.34 une représentation des diverses variantes possibles de la crue maximale et des écoulements secondaires survenant pendant 60 jours à partir du début de la dite crue maximale.

Y figure, en outre, le meilleur programme de déversement à adopter pour amortir la crue dans le lac et limiter le débit déversé en aval. On a examiné les modifications à apporter au programme de déversement selon que le niveau initial de la retenue avant la crue était de 79 ou de 80 m (anciennes cotes) Ces graphiques représentent, en outre, la variation du niveau dans la retenue.

-=-=-=-=-=-=-=-

CRUE MAXIMALE A RINCON del BONETE

DEBITS MOYENS JOURNALIERS en m^3/s

Jours	Var. A	Var. A'	Var. B	Var. B'
1	930	1 055	440	468
2	2 540	2 990	1 100	1 260
3	3 510	4 150	2 410	2 830
4	4 700	5 580	3 710	4 390
5	7 500	9 140	11 400	13 620
6	9 950	11 900	19 200	23 000
7	10 800	12 900	15 450	18 500
8	12 000	14 320	17 000	20 200
9	14 700	17 550	18 150	21 700
10	17 800	21 300	18 400	22 000
11	18 100	21 600	17 700	21 200
12	18 700	22 300	15 500	18 500
13	17 200	20 550	12 350	14 700
14	14 300	17 050	9 200	10 950
15	10 370	12 350	6 550	7 760
16	6 850	8 120	4 400	5 180
17	4 170	4 900	3 080	3 720
18	2 460	2 850	2 175	2 510
19	1 580	1 775	1 580	1 775
20	1 030	1 115	1 030	1 115
21	740	770	740	770
22	630	636	630	636
23	602	603	602	603

CRUE MAXIMALE A RINCON del BONETE

VALEURS JOURNALIERES DES VOLUMES D'ECOULEMENT (1) CUMULES ARRIVANT DANS LE RESERVOIR DE BONETE (10^6 m^3)

Jours	Var. A	Var. A'	Var. B	Var. B'
1	80	91	38	40
2	300	349	133	149
3	604	708	331	394
4	1 010	1 190	551	773
5	1 758	1 980	1 536	1 953
6	2 618	3 008	3 196	3 938
7	3 551	4 123	4 534	5 538
8	4 590	5 363	6 004	7 283
9	5 850	6 880	7 574	9 158
10	7 390	8 720	9 164	11 058
11	8 955	10 585	10 694	12 888
12	10 675	12 510	12 034	14 438
13	12 160	14 285	13 100	15 708
14	13 395	15 760	13 895	16 653
15	14 290	16 828	14 451	17 325
16	14 882	17 530	14 832	17 773
17	15 243	17 953	15 098	18 094
18	15 455	18 199	15 186	18 311
19	15 592	18 352	15 323	18 464
20	15 681	18 448	15 412	18 560
21	15 745	18 515	15 476	18 626
22	15 800	18 570	15 531	18 681
23	15 852	18 622	15 583	18 733

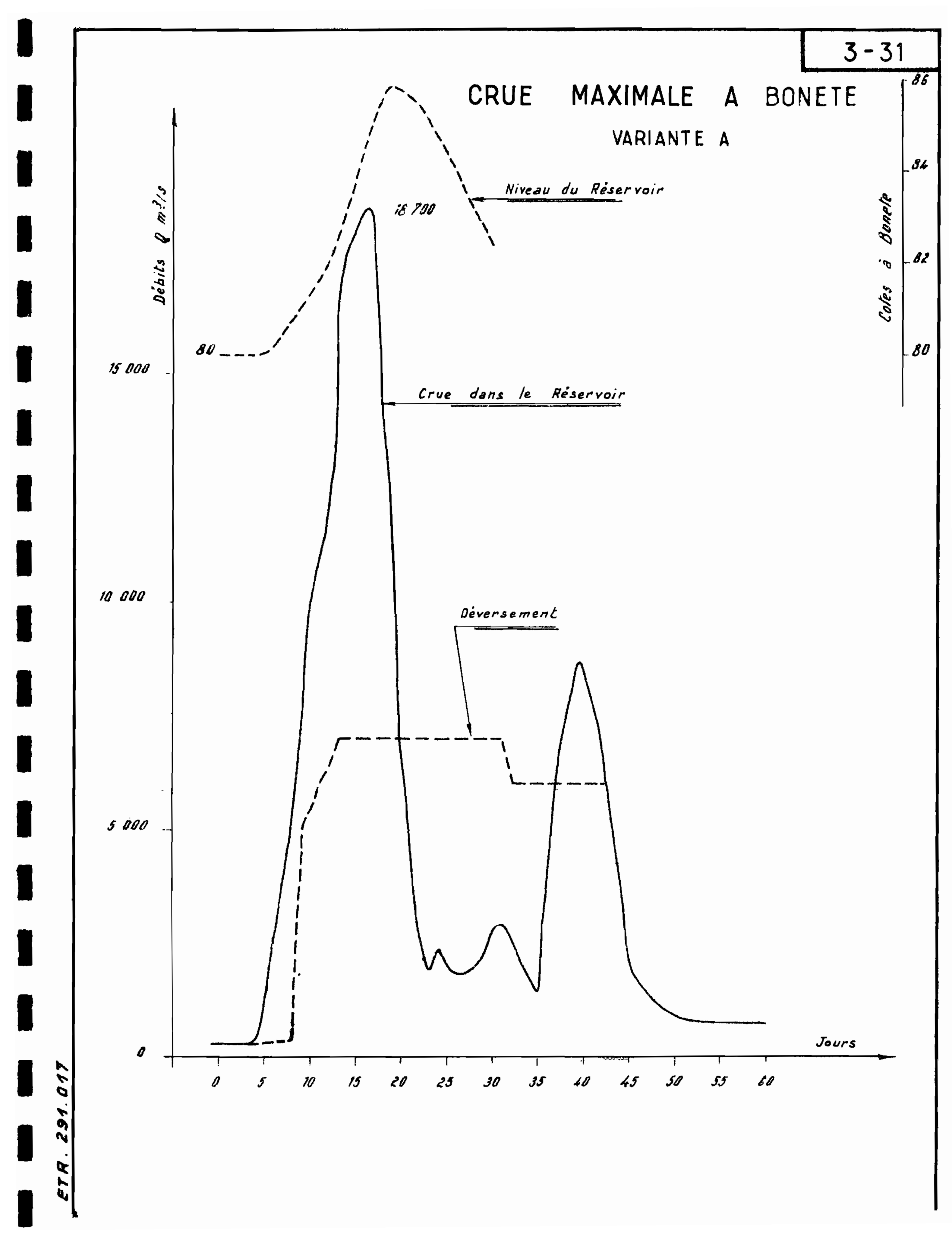
(1) écoulement de base compris

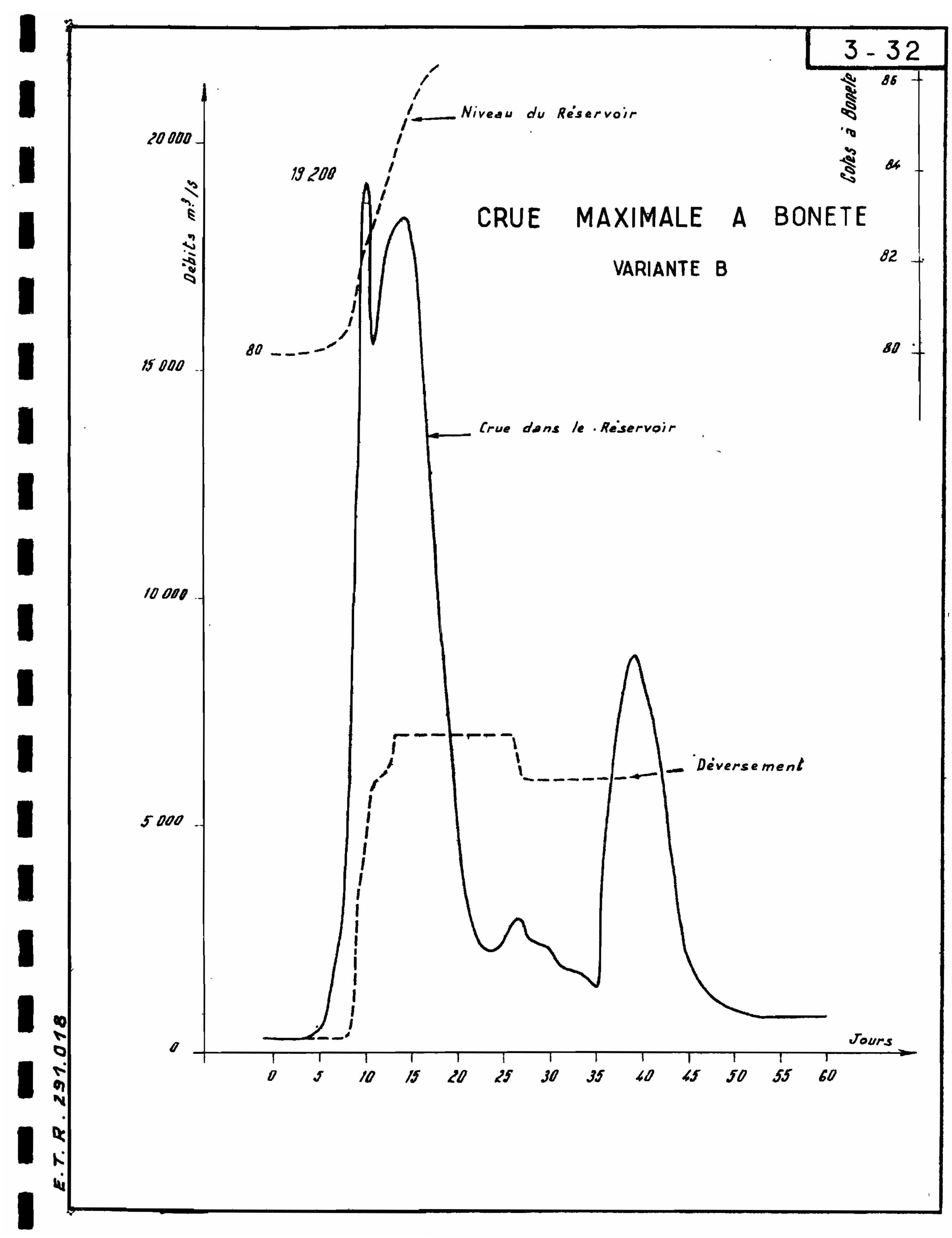
TABLEAU 3.30

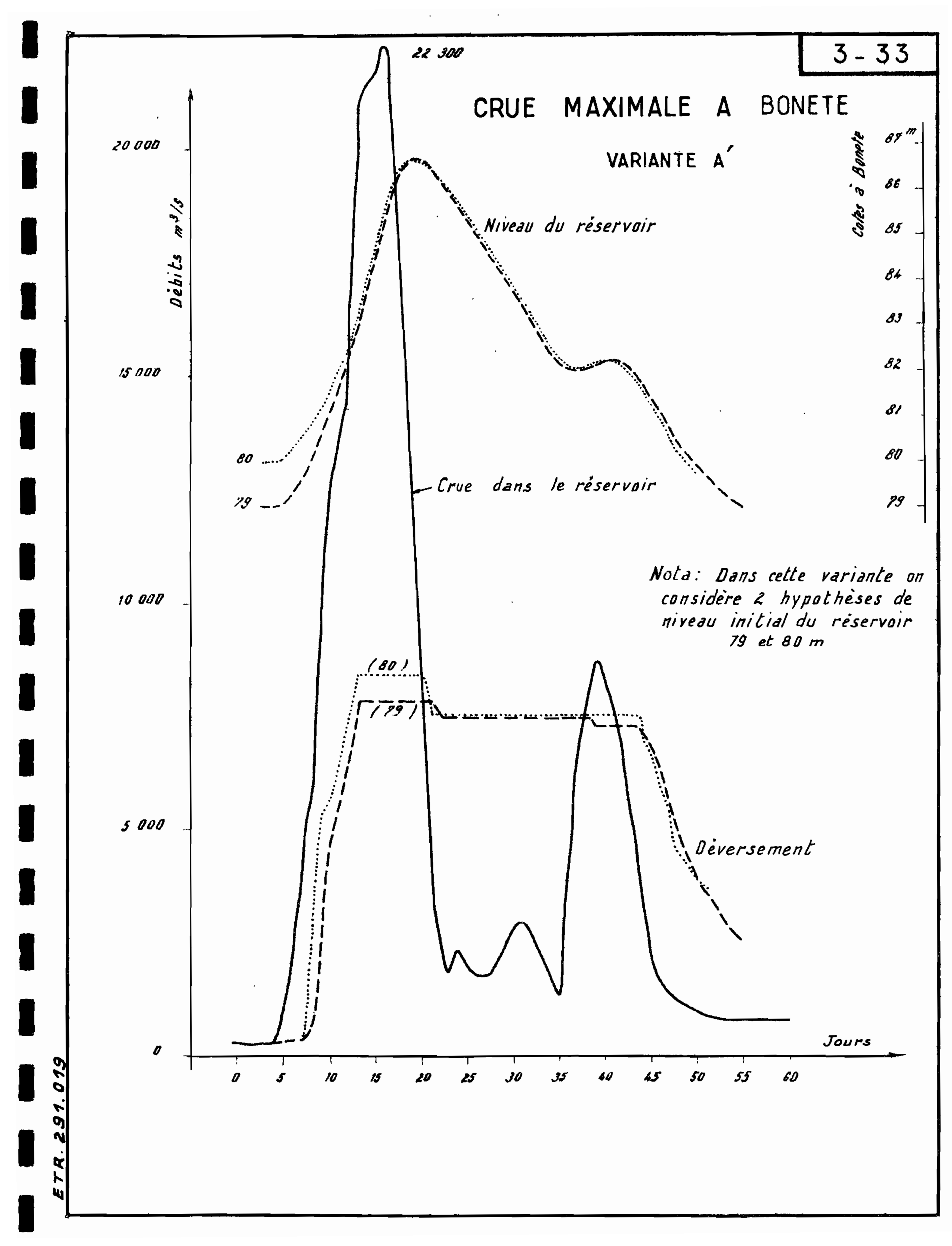
VARIANTE B

Répartition des nouvelles moyennes des pluies sur les diverses zones (mm)

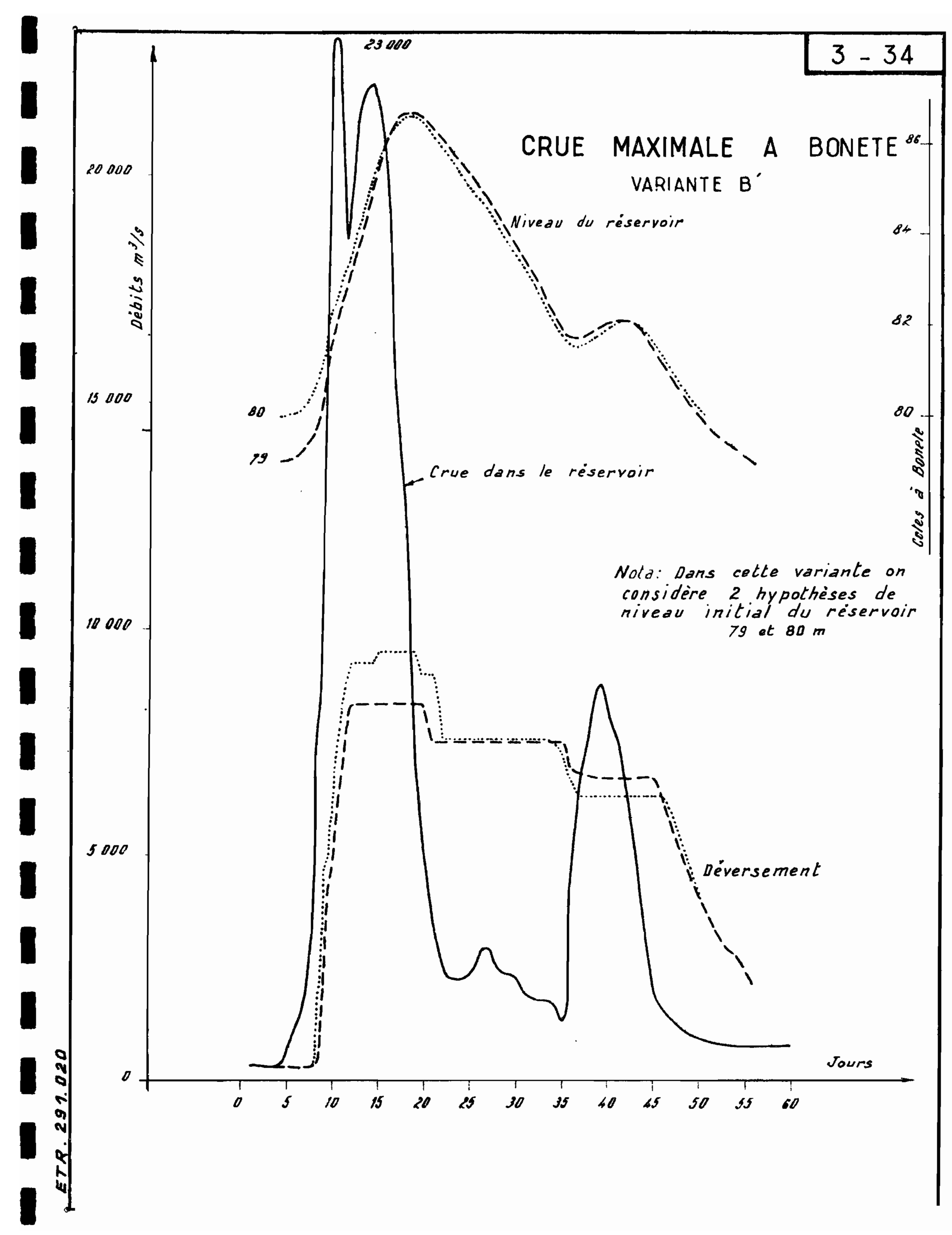
Jours	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12
6/4	15	15	20	30	35	40	40	45	45	40	35	35
7/4	30	40	55	65	70	70	70	75	75	75	70	65
8/4	identique à 1959 (Tableau3.16, annexe 3)											
9/4		"		"			"					
14/4	125	135	110	100	90	85	80	80	75	65	60	60
15/4	150	160	150	120	105	85	60	60	55	50	45	45
10-13/4	idéntique à 1959 (Tableau 3.16, annexe 3)											


CRUE MAXIMALE A BONETE
VARIANTE A
Débits Q m³/s
Cotes à Bonete
86
84
82
80
Niveau du Réservoir
18 700
80
15 000
Crue dans le Réservoir
10 000
Déversement
5 000
0
Jours
0
5
10
15
20
25
30
35
40
45
50
55
60
ETR. 291.017


CRUE MAXIMALE A BONETE
VARIANTE B
Niveau du Réservoir
Crue dans le Réservoir
Déversement
Débits m³/s
Cotes à Bonete
19 200
20 000
15 000
10 000
5 000
0
80
86
84
82
80
Jours
0
5
10
15
20
25
30
35
40
45
50
55
60
E.T.R. 291.018

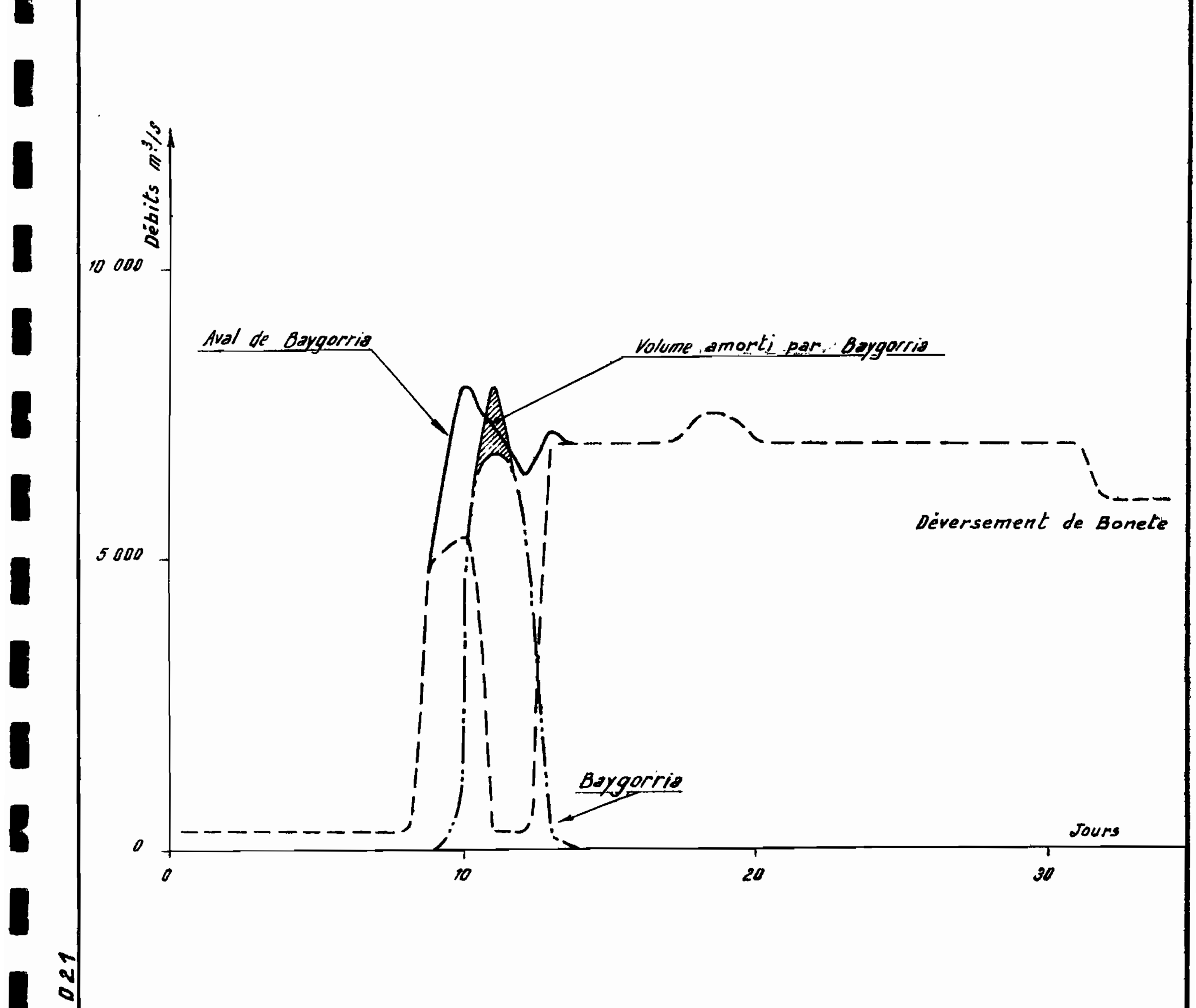


CRUE MAXIMALE A BONETE
VARIANTE A'
22 300
20 000
15 000
10 000
5 000
0
Débits m³/s
Cotes à Bonete
87 m
86
85
84
83
82
81
80
79
Niveau du réservoir
80
79
Crue dans le réservoir
Nota: Dans cette variante on considère 2 hypothèses de niveau initial du réservoir 79 et 80 m
(80)
(79)
Déversement
Jours
0
5
10
15
20
25
30
35
40
45
50
55
60
ETR. 291.019


3 - 34
CRUE MAXIMALE A BONETE
VARIANTE B'
23 000
20 000
15 000
10 000
5 000
0
Débits m³/s
Niveau du réservoir
80
79
Crue dans le réservoir
86
84
82
80
Cotes à Bonete
Nota: Dans cette variante on considère 2 hypothèses de niveau initial du réservoir 79 et 80 m
Déversement
Jours
0
5
10
15
20
25
30
35
40
45
50
55
60
ETR. 291.020

CRUE A BAYGORRIA

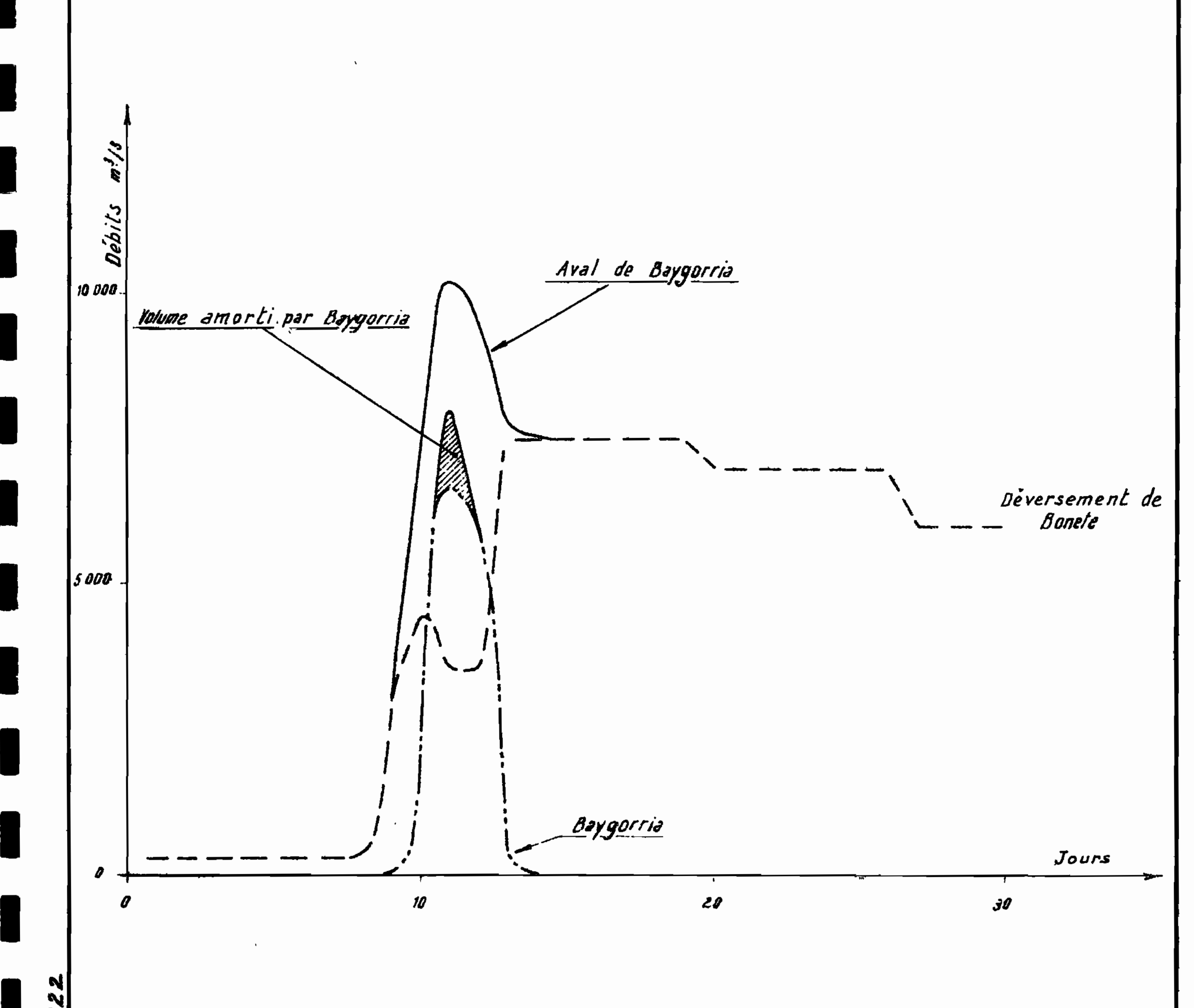
VARIANTE A



ETR. 291.021

CRUE A BAYGORRIA

VARIANTE B

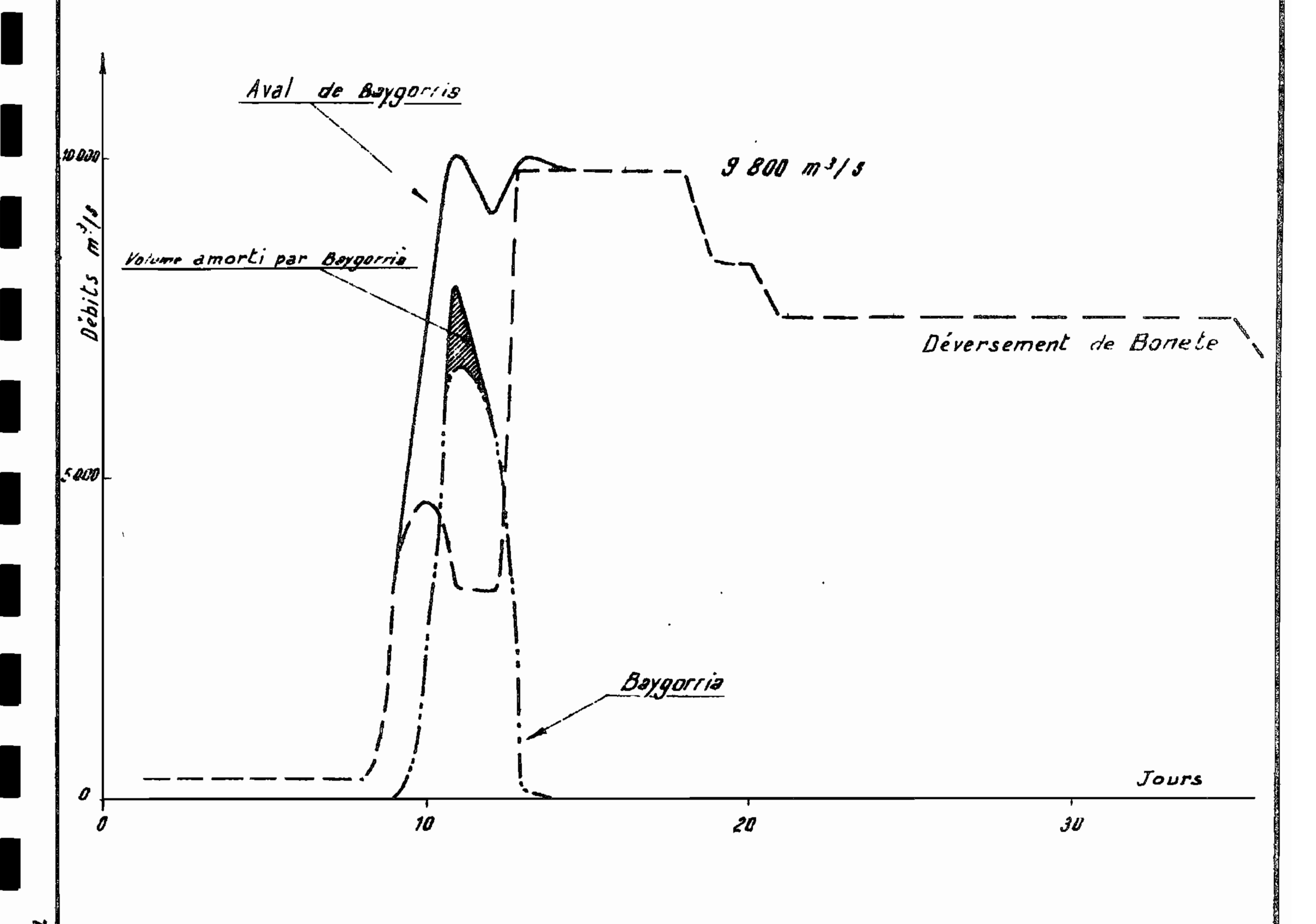


CRUE A BAYGORRIA

VARIANTE A'1

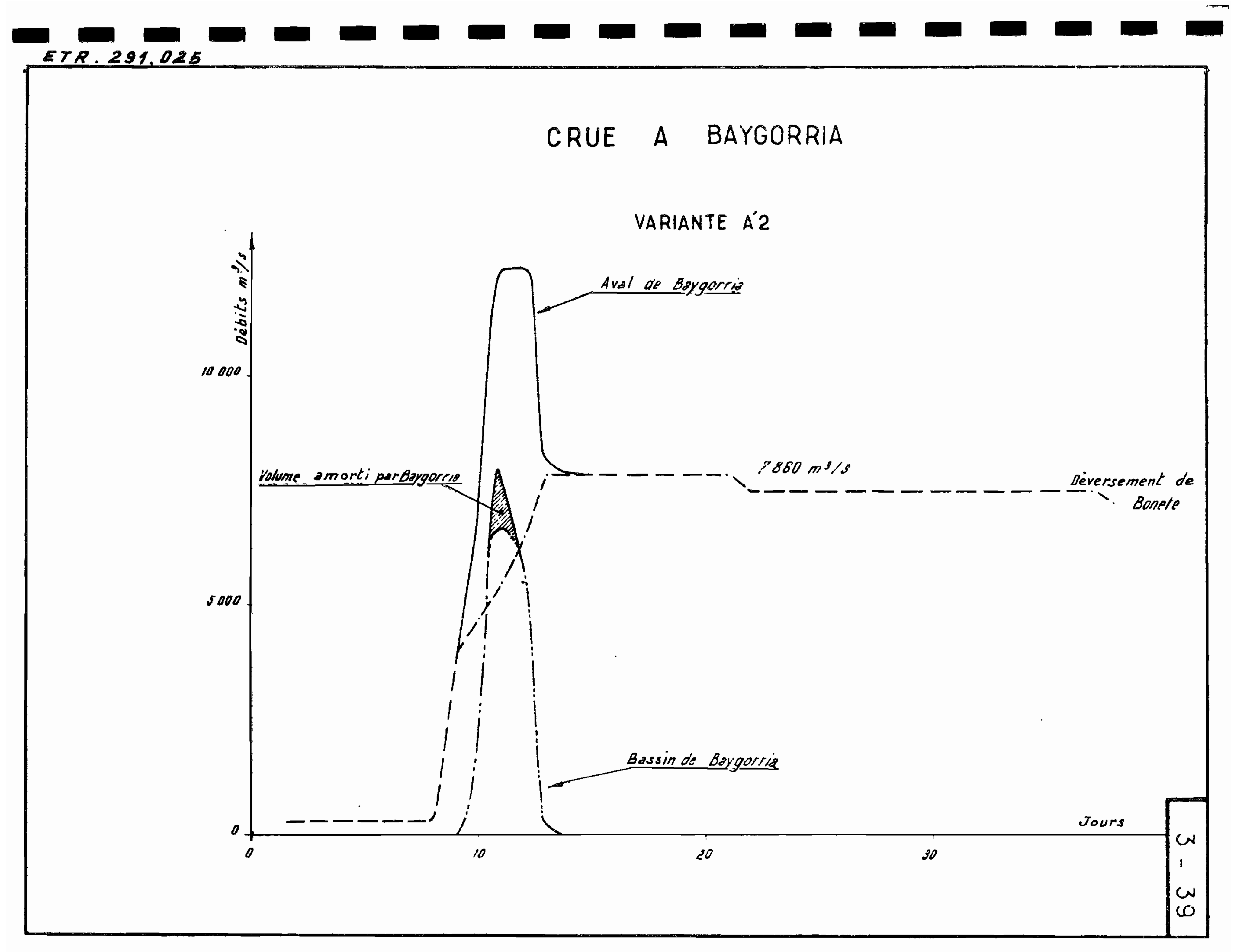
CRUE A BAYGORRIA

VARIANTE B'1



ETR . 291 . 024

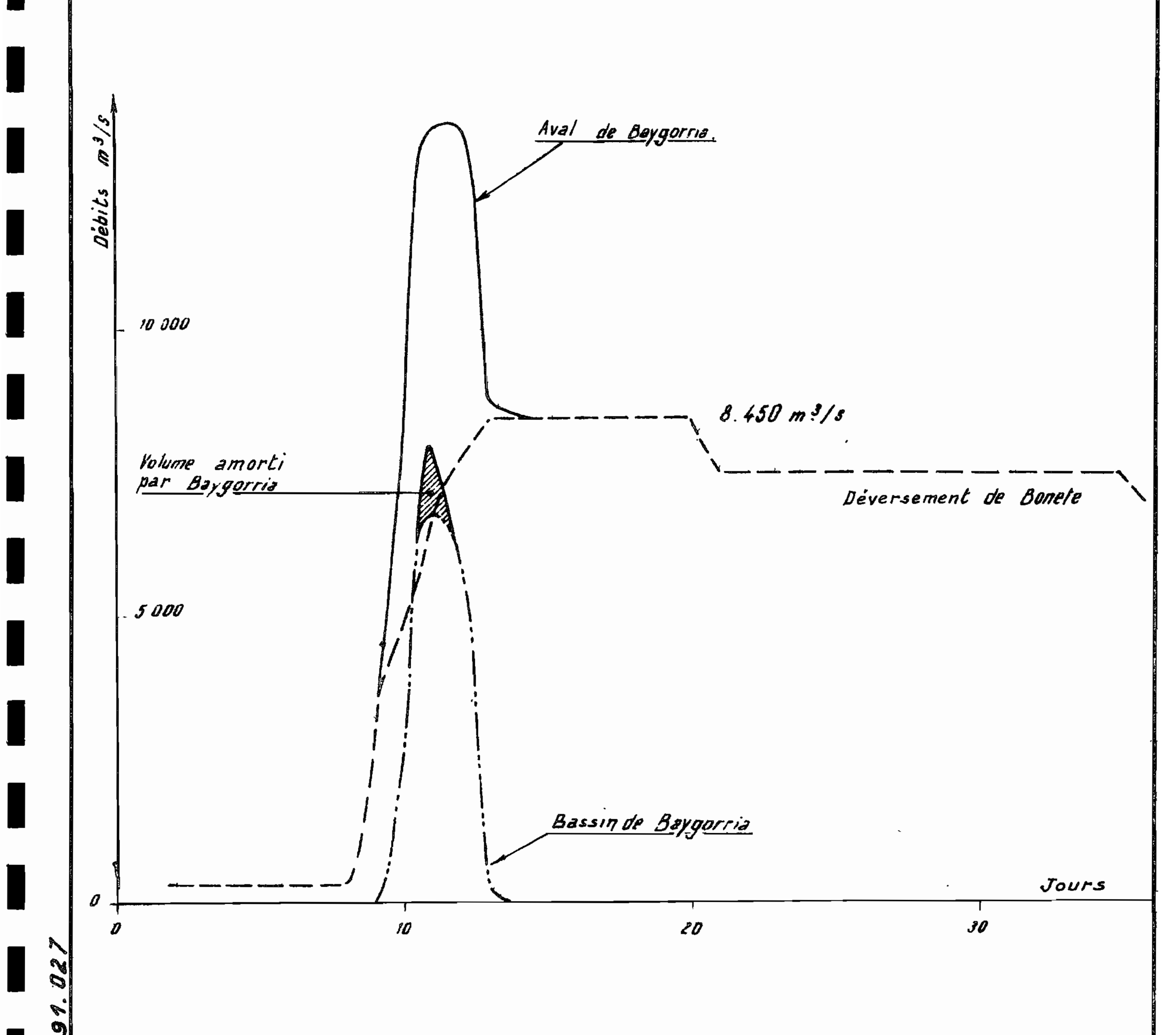
ETR. 291.025



CRUE A BAYGORRIA
VARIANTE A'2
Débits m³/s
10 000
5 000
0
Aval de Baygorria
Volume amorti par Baygorria
7 860 m³/s
Déversement de Bonete
Bassin de Baygorria
Jours
0
10
20
30

CRUE A BAYGORRIA

VARIANTE B'2



ETR. 291.027

NOTE ANNEXE N° 6 AU CHAPITRE III

LES CRUES MAXIMALES DANS LE BASSIN PARTIEL
ENTRE BAYGORRIA et PALMAR
ET CALCULS DES HYDROGRAMMES SYNTHETIQUES

1°/- VARIANTES A - B - A' - et B' -

Nous continuons à utiliser la méthode de l'hydrogramme synthétique.

Indiquons tout d'abord, pour le bassin partiel, les superficies qui correspondent aux diverses bandes isochrones dont le tracé a été effectué en adoptant une durée de parcours de 24 heures entre chaque courbe (P. 3.41)

ZONES	SUPERFICIES	ZONES	SUPERFICIES
0-1	3 105 km^2	5-6	1 500 km^2
1-2	2 000	6-7	1 610
2-3	2 560	7-8	1 700
3-4	2 700	8-9	1 300
4-5	2 465		

Pour le calcul de la crue maximale correspondant à la variante A, nous avons employé les éléments suivants :

a)- Réseau d'isohyètes d'Avril 1959 (P. 3.15)-Pour la période du 6 au 16 Avril, la pluie moyenne a été de 315 mm sur le bassin partiel.

b)- Les pluies moyennes journalières sur les bandes isochrones et les coefficients d'écoulement qui leur sont appliqués figurent dans le tableau 3.42

../.

A l'hydrogramme synthétique calculé à partir de ces précipitations, est ajouté un débit de base variant de 200 à 300 m^3/s du début à la fin de la crue.

Les débits moyens journaliers de la crue du bassin partiel à PALMAR sont donnés dans le tableau 3.43. Les volumes d'écoulement correspondants, accumulés chaque jour dans la retenue de PALMAR, figurent dans le tableau 3.44.

Pour le calcul de la crue maximale du bassin partiel correspondant à la variante B, nous avons conservé et la hauteur de précipitation totale de 315 mm et les coefficients d'écoulement. Nous avons uniquement modifié l'ordre dans lequel surviennent les précipitations journalières correspondant aux jours de pluie d'Avril 1959, comme il figure dans le tableau suivant :

Jours	Pluies (mm)
6 Avril	9
7	25
8	21
14	84
15	92
10	21
11	21
12	21
13	21

Le calcul de l'hydrogramme synthétique s'effectue de la même façon en y ajoutant un débit de base semblable. Les débits moyens journaliers et les volumes accumulés figurent aussi dans les tableaux 3.43 et 3.44.

On y trouvera également les résultats du calcul des variantes A' et B' de la crue maximale dans le bassin partiel, obtenus évidemment en multipliant par 1,20 les variantes A et B.

2°/- VARIANTES C et D -

On a pris en considération une répartition sur le bassin partiel des précipitations du 6 au 16 Avril 1959, correspondant à celle de la zone la plus arrosée de l'URUGUAY pendant cette même période.

../.

Le calcul des précipitations moyennes journalières conduit aux résultats portés dans le tableau suivant où figurent également les coefficients d'écoulement appliqués à chaque précipitation journalière pour calculer la crue maximale variante C :

Jours	6	7	8	9	10-13	14	15	
Pluies	10	70	120	60	90	140	170	(mm)
Ke %	20	60	80	85	90	95	95	

Pour la variante D, nous supposons que les pluies des 14 et 15 Avril surviennent immédiatement après la pluie du 9 et avant le groupe de pluies du 10 au 13.

Les coefficients d'écoulement changent alors à partir du 14 et sont égaux à 92 % ce jour-là et à 95 % les jours suivants .

Les débits de base ajoutés à l'hydrogramme calculé croissent régulièrement de 250 à 400 m^3/s du début à la fin de la crue pour les deux variantes C et D. Les débits moyens journaliers et les volumes accumulés dans la retenue figurent également sur les tableaux 3.43 et 3.44.

Nous tenons à signaler que le calcul des hydrogrammes synthétiques du bassin partiel a été simplifié par rapport à celui de l'hydrogramme synthétique du bassin de BONETE. En effet il n'a pas été tenu compte de la modulation due à l'effet d'emmagasinement, celui-ci ayant été considéré comme négligeable dans ce bassin, plus imperméable que celui de BONETE, et où on ne rencontre pratiquement aucune zone marécageuse ni de grand débordement.

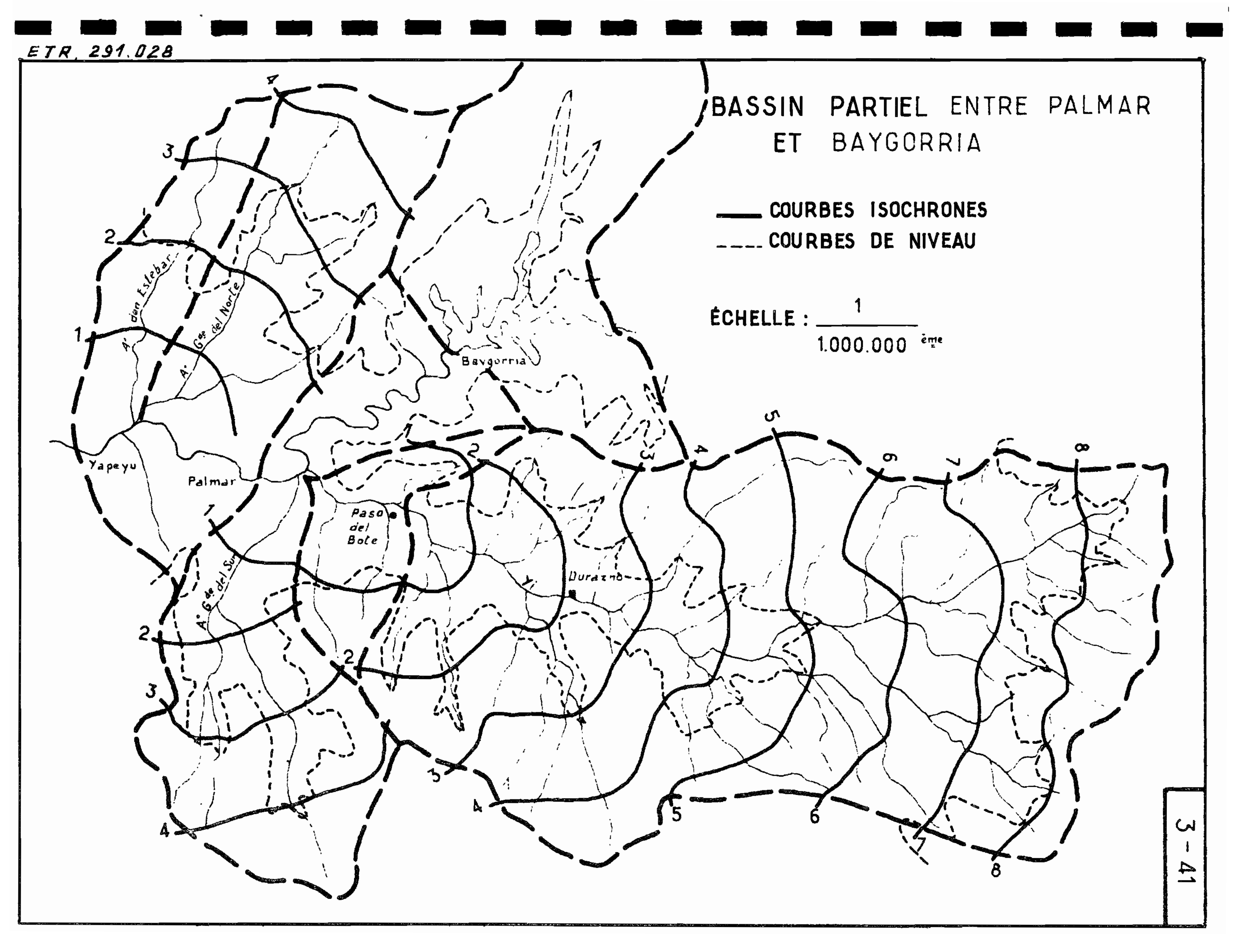
Sur les plans 3.47 à 3.54 sont dessinées les 8 variantes possibles de la crue maximale dans le bassin partiel de BAYGORRIA à PALMAR. Sur les mêmes graphiques et en tenant compte des temps de parcours dans le lit du fleuve, on a dessiné les formes correspondantes de l'hydrogramme de déversement du barrage de BAYGORRIA.

La composition de ces deux ondes de crue donne la forme de l'hydrogramme de crue maximale à PALMAR. Le débit maximal obtenu ainsi est le plus vraisemblable.

../.

Dans le cas d'une erreur de manoeuvre des vannes des déversoirs ou dans le cas d'un décalage dans le temps des précipitations sur le bassin du YI et celui de BONETE, nous avons fait figurer sur chaque graphique le plafond que pourrait atteindre la crue à PALMAR si les maximums des crues partielles et des déversements à BAYGORRIA se superposaient exactement.

-=-=-=-=-=-=-


BASSIN PARTIEL ENTRE PALMAR
ET BAYGORRIA
COURBES ISOCHRONES
COURBES DE NIVEAU
ÉCHELLE : 1/1.000.000 ème
Baygorria
Yapeyu
Palmar
Paso del Bote
Durazno
A° don Esteban
A° G^de del Norte
A° G^de del Sur
1
2
3
4
5
6
7
8

BASSIN PARTIEL - VARIANTE A

PLUIES MOYENNES JOURNALIERES SUR LES ZONES ISOCHRONES (mm)

Zones	6	7	8	9	14	15	10 au 13
0 - 1	10	40	30	0	15	70	100
1 - 2	10	50	25		15	65	90
2 - 3	10	60	20		15	60	90
3 - 4	10	60	20		20	50	95
4 - 5	25	50	20		20	50	90
5 - 6	35	40	25		25	50	85
6 - 7	40	35	30		35	50	85
7 - 8	40	35	30		40	60	80
8 - 9	40	35	30		40	70	80
Coefficients d'écoulement	30	65	80	-	90	95	90 et 95 %

CRUES MAXIMALES DU BASSIN PARTIEL entre BAYGORRIA & PALMAR

DEBITS MOYENS JOURNALIERS en m^3/s

Jours	Var. A	Var. A'	Var. B	Var. B'	Var. C	Var. D
1	328	354	344	358	1 070	1 070
2	1 450	1 700	795	905	2 020	2 020
3	2 290	2 710	1 115	1 290	4 290	4 290
4	2 310	2 730	3 820	4 530	6 400	6 400
5	3 200	3 800	6 200	7 400	6 850	9 170
6	5 380	6 820	6 950	8 270	8 350	14 500
7	4 670	5 560	8 400	10 300	8 200	14 850
8	5 600	6 670	8 350	10 250	6 720	15 750
9	6 110	7 300	7 020	8 370	9 350	15 900
10	6 300	7 500	5 720	6 800	13 350	13 650
11	5 070	6 030	5 390	6 400	12 100	10 020
12	4 730	5 630	4 660	5 520	12 550	8 250
13	4 550	5 400	3 100	3 650	11 500	7 010
14	3 320	3 920	1 650	1 900	8 370	4 070
15	1 800	2 100	1 340	1 530	5 920	1 500
16	1 430	1 655	1 010	1 135	5 750	1 060
17	1 035	1 180	670	720	5 180	750
18	620	685			2 540	510

TABLEAU 3.44

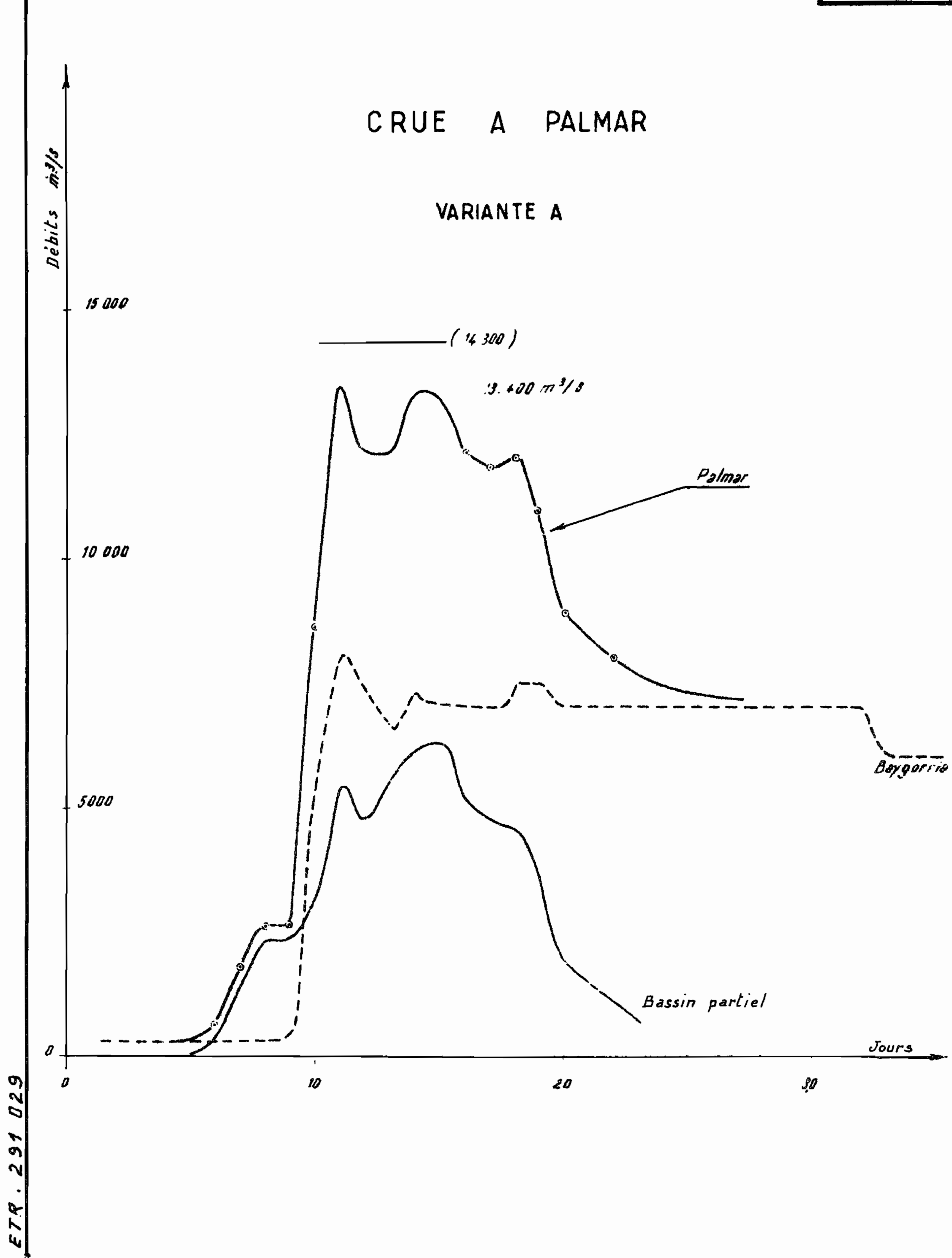
CRUE MAXIMALE DU BASSIN PARTIEL **entre BAYGORRIA** & **PALMAR**

VALEURS JOURNALIERES DES VOLUMES D'ECOULEMENT (1)

CUMULES ARRIVANT à PALMAR (10^6 m^3)

Jours	Var. A	Var. A'	Var. B	Var. B'	Var. C	Var. D
1	28	31	30	31	92	92
2	153	178	99	109	267	267
3	351	414	195	220	638	638
4	551	650	525	612	1 191	1 191
5	828	978	861	1 252	1 783	1 983
6	1 293	1 568	1 462	1 967	2 505	3 238
7	1 697	2 050	2 188	2 857	3 214	4 523
8	2 182	2 626	2 910	3 742	3 795	5 885
9	2 710	3 258	3 517	4 466	4 603	7 260
10	3 255	3 906	4 012	5 054	5 758	8 440
11	3 693	4 528	4 478	5 607	6 803	9 322
12	4 101	5 014	4 881	6 084	7 888	10 036
13	4 495	5 491	5 149	6 400	8 883	10 642
14	4 782	5 830	5 291	6 564	9 608	10 994
15	4 937	6 011	5 407	6 696	10 120	11 124
16	5 061	6 154	5 494	6 794	10 617	11 216
17	5 151	6 256	5 552	6 856	11 065	11 281
18	5 205	6 315			11 285	11 325

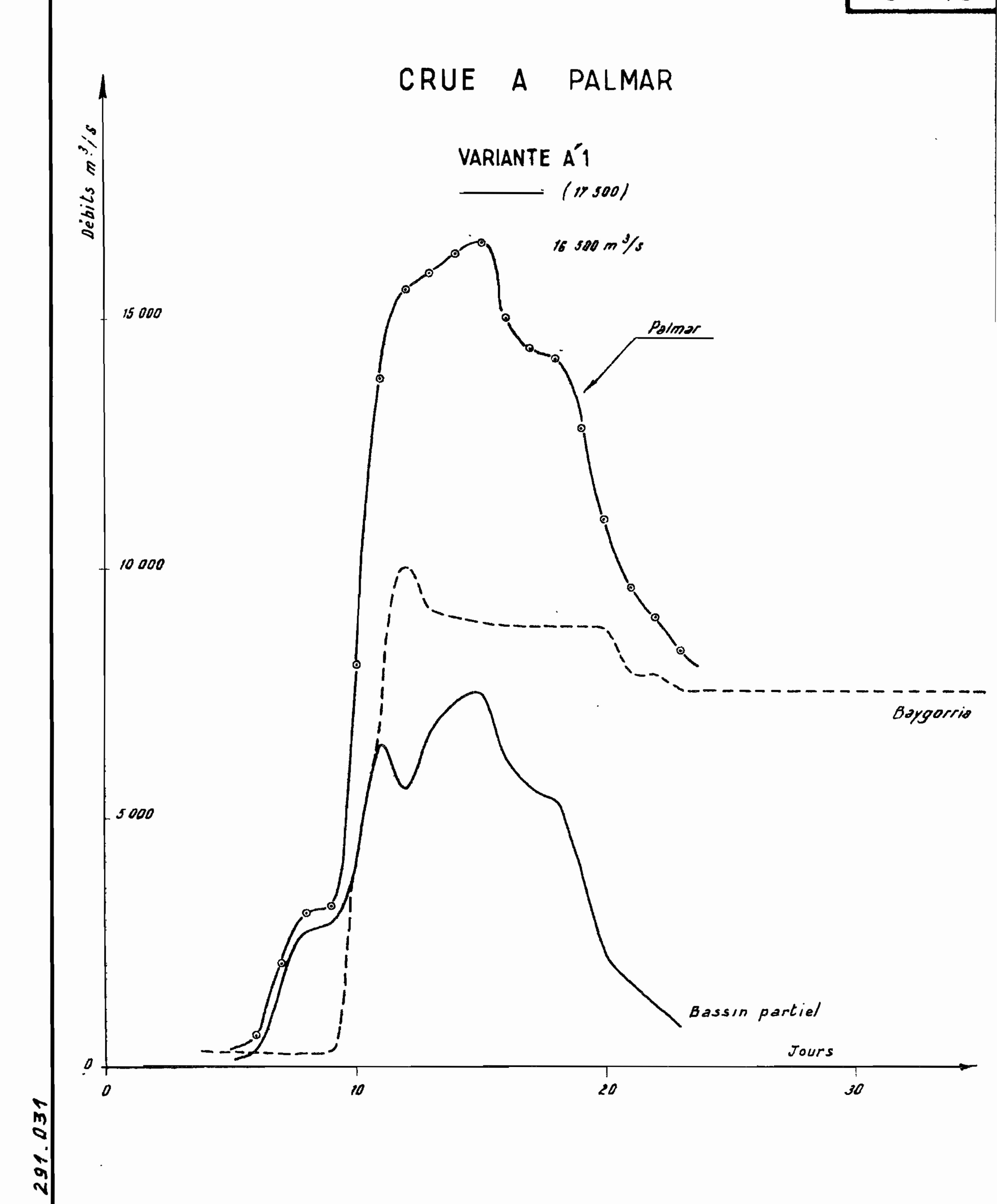
(1) Ecoulement de **base** compris


CRUE A PALMAR
VARIANTE A
Débits m^3/s
15 000
10 000
5000
0
(14 300)
13.400 m^3/s
Palmar
Baygorria
Bassin partiel
Jours
0
10
20
30
ETR. 291 029

CRUE A PALMAR

VARIANTE B

ETR. 291. 030


CRUE A PALMAR
VARIANTE A'1
(17 500)
16 500 m³/s
Débits m³/s
15 000
10 000
5 000
0
Palmar
Baygorria
Bassin partiel
Jours
0
10
20
30

ETR. 291.031

CRUE A PALMAR

VARIANTE A'2

Débits m³/s

20 000

15 000

10 000

5 000

(19 800)

19 100 m³/s

Palmar

Baygorria

Bassin partiel

Jours

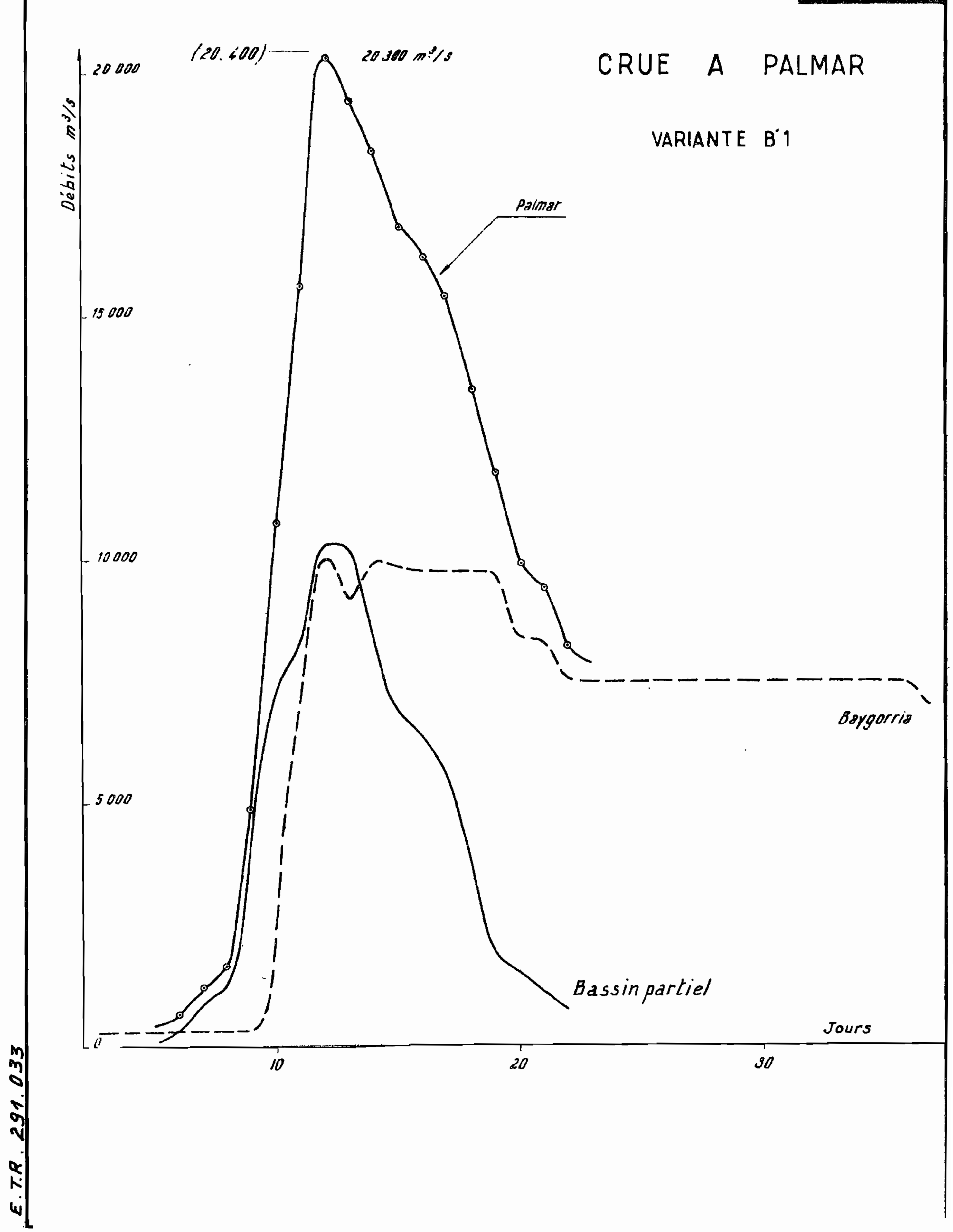
0

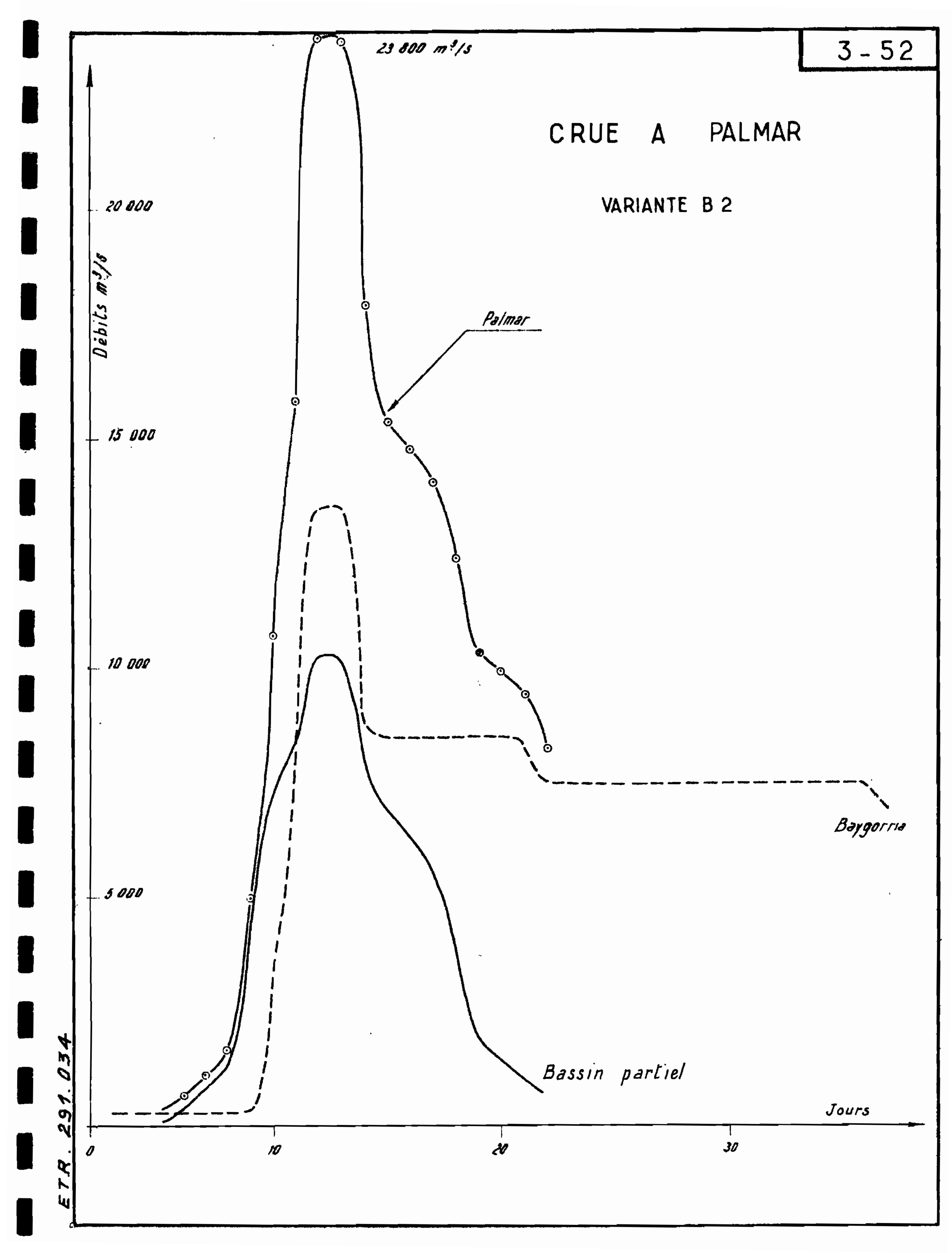
10

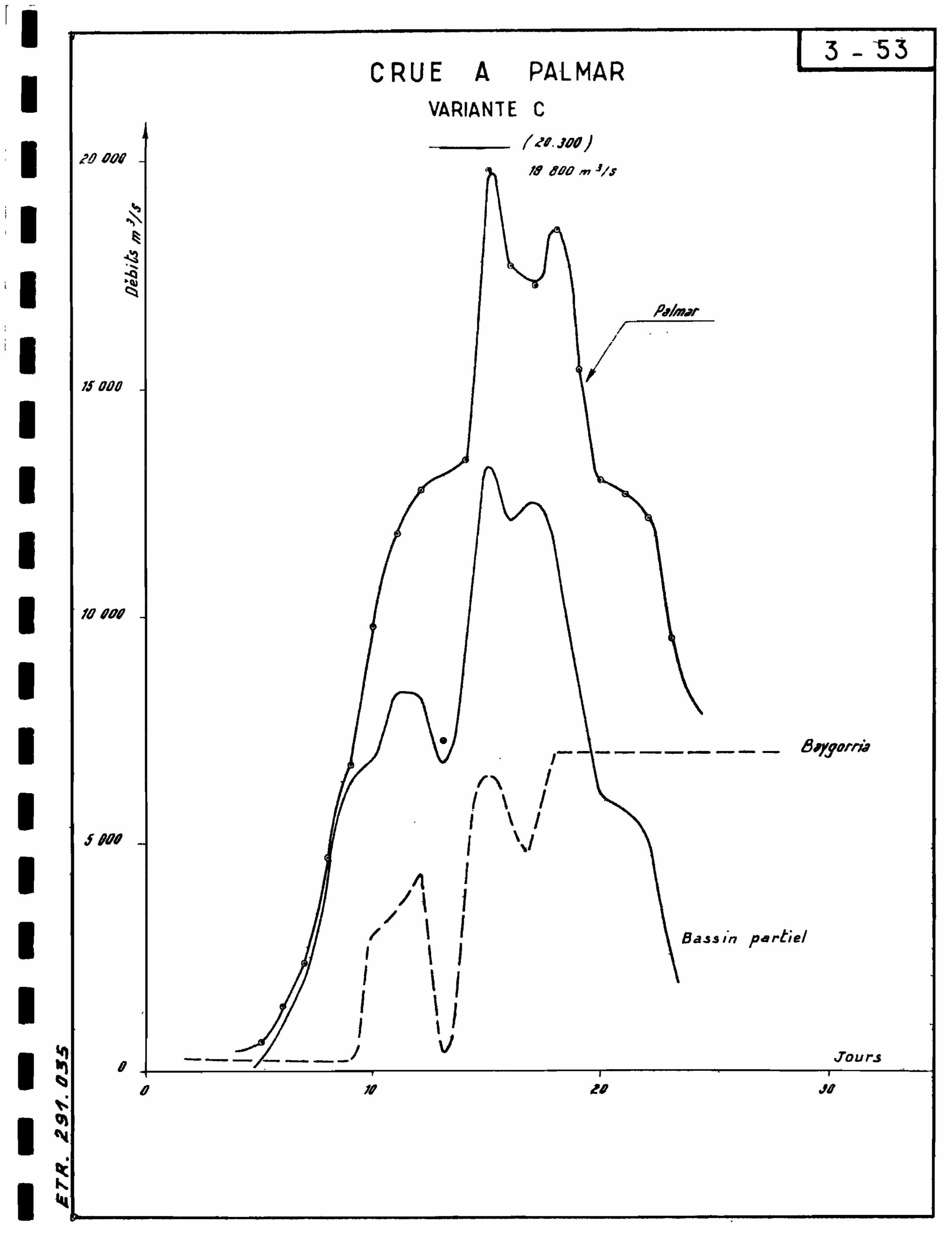
20

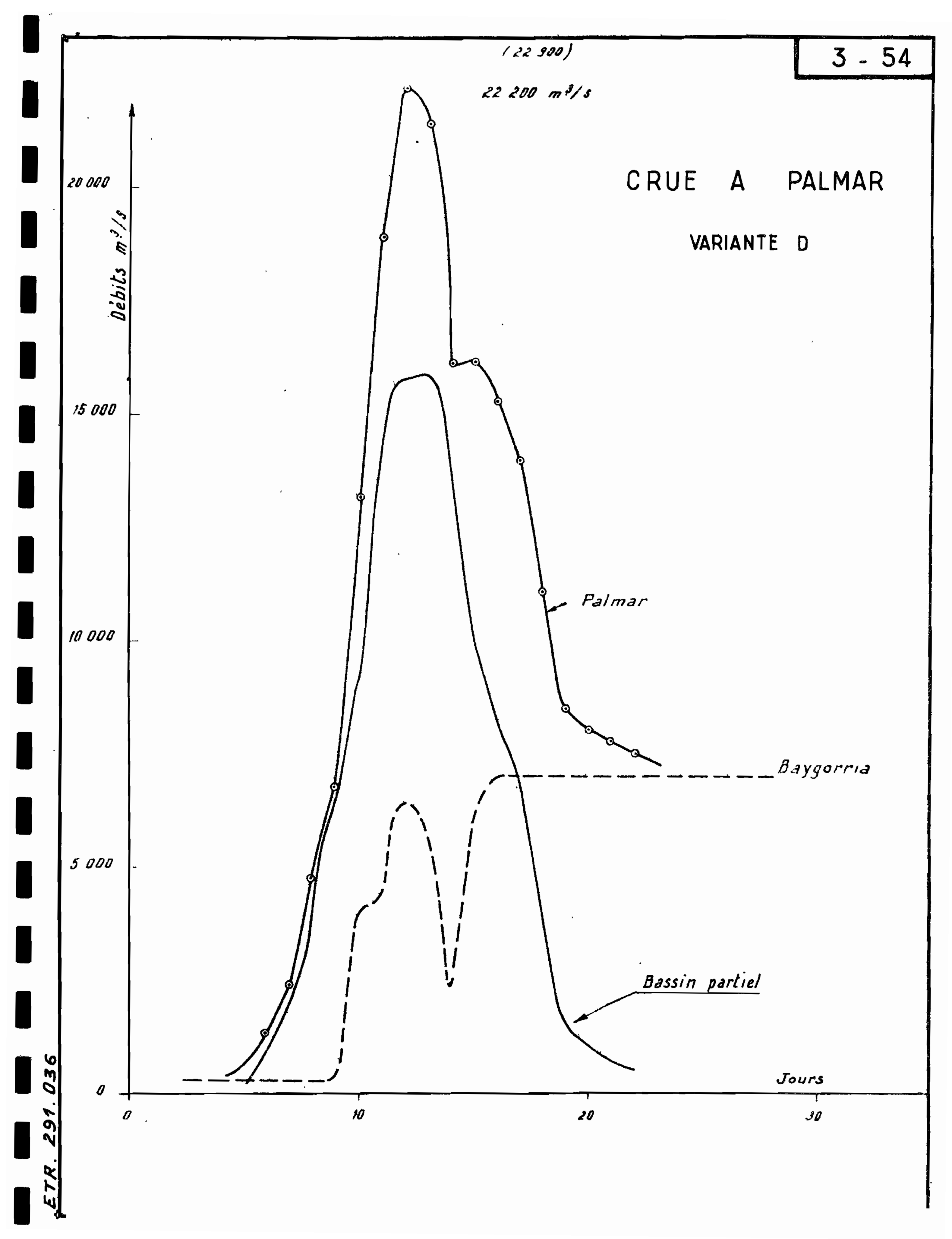
30

ETR. 291.032


CRUE A PALMAR
VARIANTE B'1
(20.400)
20 380 m³/s
Débits m³/s
20 000
15 000
10 000
5 000
0
Palmar
Baygorria
Bassin partiel
Jours
10
20
30


3 - 52
CRUE A PALMAR
VARIANTE B 2
23 800 m³/s
Débits m³/s
20 000
15 000
10 000
5 000
Palmar
Baygorria
Bassin partiel
Jours
0
10
20
30
ETR. 291.034


CRUE A PALMAR
VARIANTE C
(20.300)
19 800 m³/s
20 000
15 000
10 000
5 000
0
Débits m³/s
Palmar
Baygorria
Bassin partiel
Jours
0
10
20
30
ETR. 291.035


(22 900)
22 200 m³/s
CRUE A PALMAR
VARIANTE D
Débits m³/s
20 000
15 000
10 000
5 000
0
Palmar
Baygorria
Bassin partiel
Jours
0
10
20
30
ETR. 291. 036



CRUE A PALMAR

(FRÉQUENCE CENTENAIRE)

Débits m³/s

13 400 m³/s

Palmar

Baygorria

Bassin partiel

10 000

5 000

0

Jours

0 10 20 30